

ELAINE NUNES JORDAN

## **BASE DE DADOS GEODÉSICOS PARA O ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientadores:

Prof. Dr. Silvio Rogério Correia de Freitas

Prof. Dr. Camil Gemaël

CURITIBA

Fevereiro/1999

# **“BASE DE DADOS GEODÉSICOS PARA O ESTADO DO PARANÁ”**

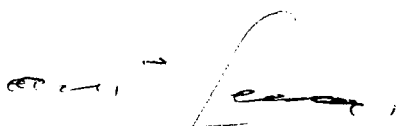
**POR**

**ELAINE NUNES JORDAN**

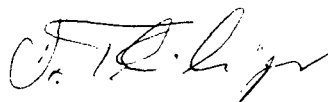
Dissertação nº 142 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



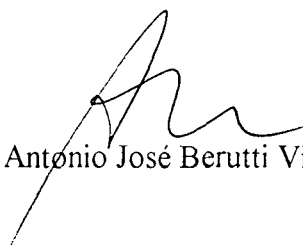
Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas (UFPR)  
Orientador e Presidente



Prof. Dr. Camil Gemaël (UFPR) - Co-Orientador



Prof. Dr. Jüergen Philips (UFSC) - Membro



Prof. Antonio José Berutti Vieira, MSc (UFPR) - Membro

## **DEDICATÓRIA**

Dedico à minha família:

meu marido Mauricio e ao meu filho Guilherme (in memorian),

meu pai Dirceu (in memorian), minha mãe Regina,

meus irmãos Patricia e Rodrigo,

meu sobrinho Felipe.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me mostrar que na vida tudo vale a pena, basta acreditar.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos e amizade aos meus orientadores, Prof. Silvio Rogério Correia de Freitas e Prof. Camil Gemaël, por estarem comigo nesta nova conquista. Pela oportunidade de conviver e conhecê-los melhor, pela confiança, pela competência, pela dedicação e por seguirem lado a lado, mostrando-me o melhor caminho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento e Pesquisa de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos, com a qual foi possível dedicar-me exclusivamente a pesquisa durante o período do mestrado.

À Companhia Paranaense de Energia (COPEL), que através do convênio com a Universidade Federal do Paraná (UFPR), abriu suas portas e tornou possível a realização deste trabalho. Em especial ao Eng. Ary Luiz Marques que sempre esteve presente mostrando sua motivação e à minha equipe Claudio Silva Graminho, Cleto Henrique Andrade Silva e Fernanda Lamas Vieira Pinto, que não mediram esforços para desenvolver este projeto, mostrando-se profissionais e capacitados, tornando a Base de Dados Geodésicos uma realidade.

À todas as empresas que cooperaram, disponibilizando informações que estão cadastradas na base. Aos profissionais especializados das mesmas, que me ajudaram a sanar dúvidas, mostrando que trocar idéias não compromete a sua capacidade.

À todos os professores com os quais convivi, cresci e que através da troca de conhecimento e amizade me ajudaram a chegar onde cheguei.

À Maria Cristina Barboza Lobianco, pela simpatia na qual sempre me atendeu e pela oportunidade que me deu, em participar de um evento como a Escola de Geóide.



Ao meu marido Mauricio Jordan, pelas traduções de alguns artigos em inglês, pelas leituras, sugestões e correções na dissertação. Agradeço ainda, pelas críticas construtivas, acredito que as mesmas serviram para me impulsionar e seguir em frente.

À Zuleica Faria de Medeiros, que mostrou um novo caminho quando eu mais precisei, demonstrando confiança e amizade, me fez acreditar que sou capaz.

Ao Pedro Luis Faggion pelo apoio e incentivo para que eu fizesse o mestrado, a sua amizade e exemplo de dedicação e perseverança.

À Silvia Helena Soares Schwab, pela troca de experiências, pelo companheirismo, pelos momentos difíceis e alegres que vivemos.

À minha turma do mestrado, Alexandre Borges Briones e Moisés Ferreira Costa, pela troca de experiências, pelo incentivo nos momentos de incerteza pela amizade e cumplicidade que nos uniu dia a dia.

Aos verdadeiros amigos e colegas que conquistei e que me conquistaram, e que de alguma maneira ajudaram a tornar realidade o que parecia apenas um sonho.

Aos bolsistas do Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica da UFPR que participaram e contribuíram no decorrer deste projeto.

À todas as pessoas que não relacionei os nomes, mas que participaram direta ou indiretamente, ajudando na confecção e término desta dissertação.

À Ana Carolina Freire pela revisão ortográfica e gramatical, deixando a dissertação apresentável.

Obrigada a todos!

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>SUMÁRIO</b> .....	iv
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	1
1.2 INFORMAÇÕES GEODÉSICAS NA BASE DE DADOS.....	1
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	6
<b>2. DEFINIÇÕES</b> .....	6
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DA BASE DE DADOS	
GRÁFICA E NÃO GRÁFICA.....	6
2.2 CONCEPÇÃO DE BASE DE DADOS.....	7
2.3 ABSTRAÇÃO DE DADOS .....	9
2.4 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BASE DE DADOS – CONCEITOS.....	11
2.5 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BASE DE DADOS – ORACLE 7.0.....	13
2.6 ESTRUTURA GERAL DA BASE DE DADOS– CONCEITOS .....	15
2.7 CONCEITOS BÁSICOS DE GIS.....	16
2.8 ESTRUTURA GERAL DE UM GIS.....	17
2.9 TIPOS DE DADOS ESPACIAIS .....	19
2.10 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO.....	19
2.10.1 Modelo matricial ou raster.....	21

2.10.2 Modelo vetorial.....	22
-----------------------------	----

## **CAPÍTULO 3.....23**

### **3. ELEMENTOS GEODÉSICOS E GRAVIMÉTRICOS.....23**

#### 3.1 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA (SGR).....23

#### 3.2 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO – COORDENADAS GEODÉSICAS HORIZONTAIS.....24

#### 3.3 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO – COORDENADAS GEODÉSICAS VERTICAIS.....27

#### 3.4 REDE GRAVIMÉTRICA FUNDAMENTAL BRASILEIRA (RGFB).....30

#### 3.5 DIVISAS MUNICIPAIS.....31

#### 3.6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS.....31

#### 3.7 CLASSIFICAÇÃO OFICIAL DE REDES GPS – IBGE.....33

#### 3.8 PROGRAMA MAPGEO (MAPA GEOIDAL DO BRASIL).....34

#### 3.9 GRANDEZAS GRAVIMÉTRICAS.....35

##### 3.9.1 Reduções das medidas gravimétricas.....37

##### 3.9.1.1 Anomalia *free-air* (ar livre ou Faye).....38

##### 3.9.1.2 Anomalia de Bouguer.....39

##### 3.9.1.3 Anomalia isostática.....40

#### 3.10 POTENCIAL DA GRAVIDADE OU GEOPOTENCIAL.....41

#### 3.11 MODELOS FÍSICOS DE CONTROLE DISPONÍVEIS.....44

##### 3.11.1 Modelo digital de terreno – ETOPO5.....44

##### 3.11.2 O modelo do geopotencial – OSU91A e EGM96.....45

##### 3.11.2.1 Modelo EGM96.....47

## **CAPÍTULO 4.....48**

### **4. BASE DE DADOS GEODÉSICOS INTERLIGADA A BASE CARTOGRÁFICA ..48**

#### 4.1 METODOLOGIA UTILIZADA.....48

#### 4.2 INFORMAÇÕES CONTIDAS NA BASE DE DADOS GEODÉSICOS.....51

#### 4.3 SIMBOLOGIA CRIADA PARA REPRESENTAR OS DIFERENTES PONTOS.....56

#### 4.4 RAO DE QUALIFICAÇÃO.....57

#### 4.5 CADASTRO DOS PONTOS.....59

4.6 GQL LINGUAGEM BASEADA EM SQL.....	61
4.7 NÍVEIS DE USUÁRIOS.....	62
4.8 INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO DO PROGRAMA.....	64
4.9 PRODUTOS DO SISTEMA.....	71
4.9.1 Vídeo.....	71
4.9.2 Disquetes.....	71
 <b>CAPÍTULO 5.....</b>	 <b>73</b>
<b>5. IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS E MODELOS,</b>	
<b>RESULTADOS OPERACIONAIS.....</b>	<b>73</b>
5.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS E MODELOS	
5.2 QUALIFICAÇÃO DOS DADOS.....	74
5.3 RESULTADOS OPERACIONAIS.....	75
 <b>CAPÍTULO 6.....</b>	 <b>76</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>76</b>
6.1 CONCLUSÕES.....	76
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	78
 <b>ANEXOS.....</b>	 <b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a	- semi-eixo maior do elipsóide de referência
ABD	- Administrador da Base de Dados
AGM	- Arquivo Geral Municipal
BD	- Base de Dados
BDG	- Base de Dados Geodésicos
CAPES	- Coordenação e Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
C <sub>B</sub>	- Correção de Bouguer
C <sub>F</sub>	- Correção <i>free-air</i>
C <sub>I</sub>	- Correção isostática
DETRE	- Departamento de Estruturas Territoriais
DL	- Divisão de Levantamento
DMA	- <i>Defense Mapping Agency Aerospace</i>
DSG	- Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército
EGM96	- <i>Earth Gravitational Model 96</i>
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ETOPO5	- Modelo topográfico digital
G	- valor da gravidade real no Geóide
GEM-T2	- <i>Satellite Pottencial Coeficient Model GEM-T2</i>
GIS	- <i>Geographical Information System</i>
GM	- produto da constante gravitacional pela massa da Terra
GPS	- <i>Global Positioning System</i>

GQL	- <i>Geographic Query Language</i>
H	- Altitude elipsóidica ou geométrica
h	- Altitude ortométrica
IAG	- <i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGSN	- <i>International Gravity Standardization Net</i>
ITRF	- <i>Terrestrial Reference Frame</i>
IUGG	- <i>International Union of Geodesy and Geophysics</i>
$J_2$	- Fator dinâmico de forma
MAPGEO	- Mapa Geoidal do Brasil
MDT	- Modelo digital de terreno
MGP	- Modelo do geopotencial
N	- Ondulação geoidal
NGDC	- <i>National Geophysical Data Center</i>
NIMA	- <i>National Imagery and Mapping Agency</i>
NMM	- Nível Médio dos Mares
ON	- Observatório Nacional
OSU91	- <i>Ohio State University OSU91 - Potencial Coefficient Model</i>
PETROBRAS	- Empresa de Petróleo Brasileiro S/A
RENEGA	- Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas
RRNN	- Referências de nível
$r_q$	- Raio de qualificação
Q	- Potencial centrífugo ou de rotação
SAD69	- <i>South American Datum 1969</i>

SEMA	- Secretaria do Meio Ambiente
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SGBD	- Sistema de gerenciamento de base de dados
SGR	- Sistema Geodésico de Referência
SQL	- <i>Strutured Language Query</i>
T	- Potencial perturbador
U	- Esferopotencial
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
V	- Potencial gravitacional da Terra
W	- Potencial externo ou geopotencial
WGS84	- <i>World Geodetic System 1984</i>
Z	- Potencial gravitacional do elipsóide
$Z_0$	- Potencial de uma esfera
$\Delta g$	- Anomalia da gravidade
$\Delta g_B$	- Anomalia de Bouguer
$\Delta g_F$	- Anomalia <i>free-air</i> (ar livre ou Faye)
$\Delta g_I$	- Anomalia Isostática
$\delta g$	- Distúrbio da gravidade
$\gamma$	- Valor da gravidade no ponto do modelo elipsoidal
$\eta$	- Componente 1° vertical
$\varphi_a$	- Latitude astronômica
$\varphi_g$	- Latitude geodésica
$\lambda_a$	- Longitude astronômica
$\lambda_g$	- Longitude geodésica

$\omega$  - Velocidade angular do movimento de rotação da Terra

$\xi$  - Componente meridiana

$\partial g / \partial h$  - Gradiente vertical da gravidade



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	– Níveis de abstração de dados.....	11
FIGURA 2	– Arquitetura de Sistema de Informação Geográfica.....	18
FIGURA 3	– Relação entre o Geóide e o elipsóide.....	28
FIGURA 4	– Esquema das interfaces da Base de Dados Geodésicos.....	51
FIGURA 5	- Tela que apresenta o raio de qualificação.....	58
FIGURA 6	- Tela que apresenta os ícones.....	64
FIGURA 7	- Tela com a articulação.....	68
FIGURA 8	- Tela de como cadastrar uma rede ou ponto.....	66
FIGURA 9	- Tela com todos os pontos cadastrados na base.....	70

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Precisão do levantamento das coordenadas geodésicas e gravimétricas.....	52
TABELA 2	– Instrumento de planialtimetria.....	52
TABELA 3	– Instrumento de altimetria.....	52
TABELA 4	– Instrumento de planimetria.....	52
TABELA 5	– Instrumento de gravimetria.....	53
TABELA 6	– Software de ajustamento.....	53
TABELA 7	– Tipos de nivelamento.....	53
TABELA 8	– Tipo de Datum.....	53
TABELA 9	– Rede geodésica.....	54
TABELA 10	– Ponto geodésico.....	55
TABELA 11	– Precisão da rede.....	55
TABELA 12	– Datum da rede.....	56
TABELA 13	– Ponto de origem.....	56

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a concepção e as fases do projeto de uma base de dados geodésicos para o Estado do Paraná, dentro de um “*Geographical Information System*” (GIS). Como pressupostos, serão envolvidos todos os dados e informações complementares dos levantamentos de coordenadas geodésicas horizontais e verticais, assim como das grandezas gravimétricas. A estrutura da base tem uma arquitetura que permite a qualificação dos dados, usando modelos digitais de terreno (MDT) e modelos do Geopotencial (MGP), a seletividade por níveis de acurácia e tipos de usuários.

## **ABSTRACT**

This work aims to present the conception and steps of a project of the Geodetic Data Base for the Paraná State, inside of a Geographical Information System (GIS). All data and complementary information of horizontal and vertical geodetic coordinates as well as gravimetric data, will be involved. The structure of base has an architecture allowing data qualification, by means the use of models like DTM and of the geopotencial, the selectivity by different accuracy levels and class of users.

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

Projetar uma base de dados geodésicos única para o Estado do Paraná, na qual seja possível associar uma base cartográfica em *Geographical Information System* (GIS), envolvendo todos os levantamentos geodésicos horizontais, verticais e as grandezas gravimétricas de precisão, devidamente classificados e qualificados, como por exemplo utilizando as Normas e Especificações da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e modelos tais como: Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo do Geopotencial (MGP).

### 1.2 INFORMAÇÕES GEODÉSICAS NA BASE DE DADOS

O estabelecimento de Sistemas Geodésicos de Referência (SGR) envolve a materialização de redes de controle fundamental, as quais se relacionam com informações planimétricas, altimétricas e gravimétricas, associadas a marcos na superfície física da Terra. As inúmeras estações geodésicas existentes em nosso território, representam a materialização do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Portanto, com a criação de uma base de dados única, estas informações ficarão centralizadas, permitindo que a comunidade as usufrua, com a finalidade de melhorar o planejamento das operações, tanto geodésicas quanto topográficas.

Em se tratando de qualificar coordenadas geodésicas e gravimétricas subentende-se avaliá-las, não apenas a forma como foram obtidas mas também analisando a precisão dos instrumentos utilizados, o resultado após feito o ajustamento e a finalidade do levantamento da coordenada. Como existem levantamentos feitos por diferentes instituições e por diversos processos, precisa-se primeiramente identificar os pontos de uma determinada região, classificando-os por nível de precisão de acordo com as Normas e Especificações do IBGE e posteriormente qualificá-los. Tendo em vista a importância de se qualificar as observações, faz-se necessária a implementação de uma Base de Dados (BD), que possibilite centralizar, classificar e qualificar os dados, em associação com uma base cartográfica em GIS, através de uma rápida inspeção das informações disponíveis.

Para qualificar as coordenadas geodésicas horizontais, serão analisados os resultados obtidos no ajustamento, valor do desvio padrão. Como existe uma classificação desenvolvida pelo IBGE a qual mostra que o levantamento pode ser de alta precisão, de precisão ou para fins topográficos, partindo disto e do desvio padrão encontrado, o ponto deverá satisfazer os critérios adotados para ser aceito. E ainda, levar-se-á em conta o instrumento, sua precisão e desempenho para os diferentes tipos de levantamentos geodésicos horizontais.

No caso das coordenadas geodésicas altimétricas, além de analisar o valor do desvio padrão resultante do ajustamento e classificá-lo segundo as Normas do IBGE, tem-se também os MDT que possibilitam visualizar em tela as coordenadas altimétricas (altitude máxima, média e mínima) de uma determinada região. Caso haja coordenadas com problema devido à própria região, falhas do operador, do equipamento ou de registro errôneo, será possível excluí-las possibilitando assim a introdução de um controle qualitativo adicional.

As grandezas gravimétricas também serão qualificadas utilizando modelos do geopotencial, como o *Earth Gravitational Model 96* (EGM96) que necessita apenas dos

valores das coordenadas do ponto para definir a ondulação geoidal (N), sendo que o desvio padrão estimado (1 sigma), varia entre 0,5 a 1 m em todo o mundo e também as componentes de desvio da vertical. Temos também o Mapa Geoidal do Brasil (MAPGEO), programa de interpolação de altitudes geoidais para o Brasil, desenvolvido pelo IBGE, cujo o erro absoluto esperado é de 3 m e o relativo 1 cm/km.

### 1.3 ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS

Contatos com os profissionais que atuam nas empresas usuárias de informações geodésicas no Estado do Paraná, possibilitou a verificação de que todos os levantamentos geodésicos feitos na atualidade têm seus objetivos, mas, de forma geral, os usuários não conhecem a acurácia destes levantamentos. Portanto, aceitam de forma incondicional os resultados obtidos como sendo os melhores para desenvolver trabalhos a partir desses. Outras questões importantes e que devem ser consideradas são: a da comunicação entre as empresas; a da falta de centralização dos dados. Percebe-se que não há troca de informações, levando a crer que há duplicidade em muitos levantamentos pelo desconhecimento das informações e inexistência de uma BD única que agrupe e qualifique todos os dados obtidos nos diversos tipos de levantamentos.

A Universidade Federal do Paraná (UFPR), através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, mantém convênio de cooperação técnico-científica com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e o IBGE. No âmbito desses convênios, recebeu-se o apoio da COPEL a qual disponibiliza suas instalações, equipamentos e pessoal especializado e está contribuindo

para o desenvolvimento aplicando como base de dados gráfica as divisas municipais; implementando os dados relacionais; promovendo acesso de dados via tela ou atributos; testando o funcionamento da base de dados não gráfica; promovendo difusão da base de dados não gráfica; disponibilizando e atualizando as informações. Como a COPEL mantém convênio com a Empresa de Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRÁS), Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército (DSG) e Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), todos os trabalhos desenvolvidos na área de levantamentos geodésicos no Paraná, envolvendo os órgãos mencionados, foram disponibilizados a fim de possibilitar o desenvolvimento deste projeto. Contou-se também com a colaboração do IBGE cooperando na normalização da Base de Dados Geodésicos (BDG) e fornecendo relatórios e pessoal especializado para sanar possíveis dúvidas. Além disso, o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas também colocou à disposição, dados, equipamentos e profissionais especializados com a finalidade de desenvolver tal projeto e contribuindo com a coleta de todos os dados referentes aos levantamentos geodésicos e gravimétricos feitos no Estado do Paraná, com os quais organizou-se uma estrutura para as informações que farão parte da base de dados não gráfica. A partir das características de levantamentos já existentes, agrupou-se de maneira lógica todos os atributos dentro da base de dados não gráfica, usando critérios de classificação para cada um deles; qualificou-se os dados por níveis de precisão e por adequação a modelos físicos.

Serão apresentados na seqüência: o estágio de desenvolvimento da base, as fontes de informações e os critérios de classificação e qualificação utilizando os MDT e o MGP com os respectivos níveis de acesso e implicações imediatas para suas aplicações.



## 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho foi organizado em oito capítulos, cujo conteúdo é descrito a seguir.

No capítulo 1, tem-se o objetivo da dissertação, o posicionamento e a organização da mesma.

No capítulo 2, são apresentados alguns conceitos preliminares tais como: Concepção da base de dados e abstração dos dados que serão abordados de forma resumida com o único propósito de apresentar os conceitos mais básicos; o Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD) ORACLE que é o gerenciador no qual foram desenvolvidos os esquemas de dados; a Estrutura geral da base de dados que usa o modelo relacional pois é o principal modelo atualmente empregado; conceitos e a estrutura geral de um GIS; os tipos de dados espaciais e suas estruturas.

O capítulo 3, apresenta uma visão dos elementos geodésicos e gravimétricos envolvidos; o programa de interpolação e altitudes geoidais para o Brasil MAPGEO desenvolvido pelo IBGE; as reduções das medidas gravimétricas fundamentais para o estudo do geopotencial e gravidade; o programa ETOPO5 para qualificar as altitudes e o programa EGM96 para qualificar grandezas gravimétricas.

O capítulo 4, apresenta a metodologia utilizada para interligação da BD com a base cartográfica adotada, instruções de execução, exemplos de processamento e análise dos resultados.

O capítulo 5, apresenta a implementação dos dados e modelos; resultados operacionais.

O capítulo 6, conclusões e recomendações.

## **CAPÍTULO 2**

### **2 DEFINIÇÕES**

#### **2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE BASE DE DADOS GRÁFICA E NÃO GRÁFICA**

No contexto deste trabalho, além da terminologia consagrada, adotam-se como conceitos básicos os de: base de dados gráfica que serve para caracterizar uma referência de distribuição espacial; e a de base de dados não gráfica que além de estruturar, associa informações de pontos geodésicos (horizontais, altimétricos e grandezas gravimétricas) com atributos dos mesmos, os quais permitem sua classificação, manutenção e acesso seletivo.

Uma base de dados geográfica é uma coleção de dados referenciados espacialmente que representa um modelo da realidade (VALENZUELA, 1990). A base gráfica de referência, neste trabalho, como exemplo, será a divisa municipal.

Uma base de dados não gráfica, nada mais é do que um sistema de armazenamento de dados baseado em computador. Em outras palavras, é um sistema cujo objetivo global é registrar e manter a informação. A base de dados não gráfica é um elemento dinâmico como a base de dados gráfica, no qual pode-se fazer tratamento de dados de diferentes espécies, os quais podem sofrer modificações e consultas.

Segundo Valenzuela (1990) os dados espaciais têm três componentes principais: posição geográfica; atributos ou propriedades; tempo. Neste trabalho, a componente tempo aparece apenas como um atributo.

Desta forma são definidos: onde está; o que é; a existência.

- Posição – a posição se refere a localização de cada dado, que deve ser especificada em um único caminho. A locação pode ser:

- (a) Absoluta, referindo-se ao dado espacial, tal como a posição do ponto usando um sistema de coordenadas cartesiano ( $X, Y, Z$ ) ou geodésica ( $\phi, \lambda, h$ ); e a posição linha/coluna descrevendo uma posição no gride;
- (b) Relativa é a locação com referência a outros objetos, isto é, a posição que estabelece uma relação espacial, a qual é descrita através do relacionamento com outros objetos “adjacentes a”, “interseção com”, “está contido em”.

Os dados geográficos podem ser armazenados em diferentes níveis de precisão de posicionamento. Assim, as posições podem ser definidas com precisões de diferentes ordens de grandeza. Por exemplo: coordenadas geodésicas determinadas com *Global Positioning System* (GPS) podem ter desde precisões sub-centimétricas até dezenas de metros.

- Atributos – os atributos são freqüentemente dados não-espaciais, já que eles sozinhos não representam informação de localização. São vinculados a outras informações, as quais tenham referência espacial.

## 2.2 CONCEPÇÃO DE BASE DE DADOS

Os GIS estão sendo progressivamente construídos com base em SGBD existentes

(ARONOFF, 1989). Eles empregam muitas funções, que de outro modo teriam que ser programadas dentro do GIS.

Existem duas abordagens usando SGBD (VALENZUELA, 1990):

- (a) Eles empregam ambos os dados, o espacial e não-espacial;
- (b) O dado não espacial é acessado através de SGBD, enquanto o dado espacial é empregado diretamente pelo GIS. Muitos GIS têm construído seus próprios SGBD, e seguem também ambas abordagens para acessar dados geográficos.

Uma base de dados promove o crescimento de benefícios obtidos com um GIS. Entre as vantagens tem-se (VALENZUELA, 1990):

- Redução na redundância dos dados: significa diminuir o que está em excesso, nas estruturas convencionais de armazenamento de dados, uma vez que os arquivos e programas aplicativos são criados por programadores diferentes durante um longo período de tempo, os arquivos provavelmente terão formatos diferentes e os programas serão escritos em diversas linguagens de programação. Também, os dados apresentados de forma diversa, já em uma base estruturada em GIS, podem ser separados por níveis de usuários e por diferentes aplicações, promovendo uma redução de redundância de dados. Portanto, porções individuais de dados podem ser compartilhadas por alguns usuários e cada um deles para diferentes propósitos.

- **Manutenção de integridade e qualidade de dados:** significa manter dados perfeitos, em condições de uso. Uma BD possibilita uma redundância mínima. Controlando a redundância os procedimentos de atualização podem ser mais eficientemente implementados usando uma BD. Isto possibilita evitar inconsistências. Então um esquema próprio bem estabelecido de modelos prescritos, assim como regras e modelos podem ser seguidos.
- **Restrições de segurança:** uma BD inclui ferramentas de segurança para controle e acesso aos dados. Isto é particularmente importante para inserir e deletar dados. Somente usuários autorizados podem ter acesso (nível diferente de acessibilidade) à BD.

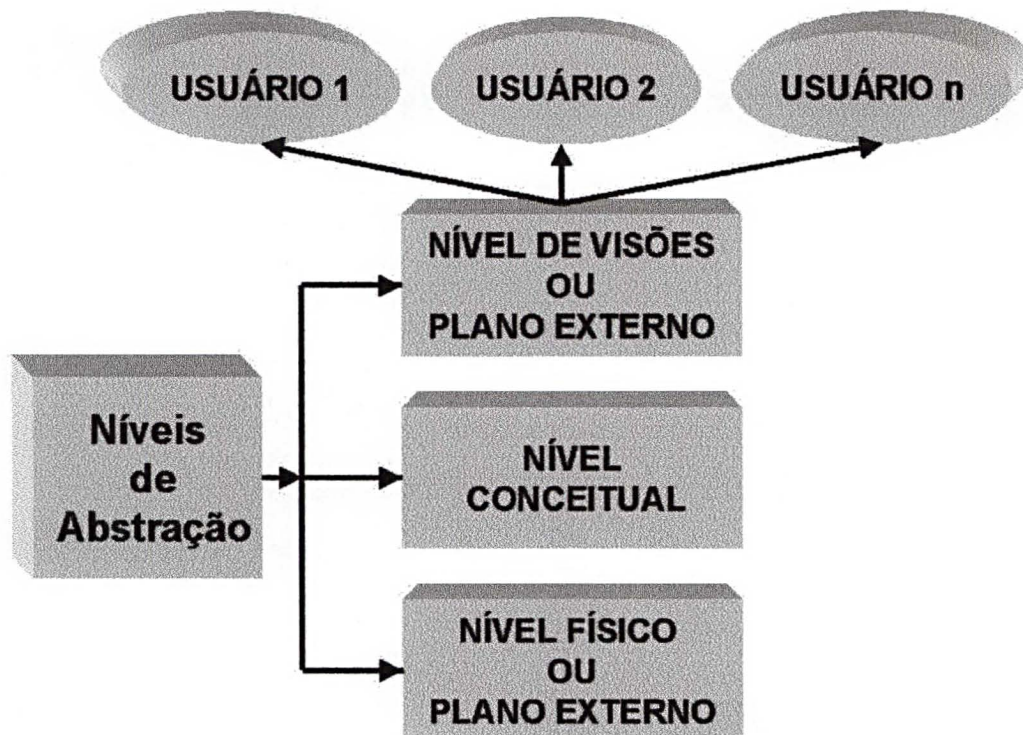
## 2.3 ABSTRAÇÃO DE DADOS

A abstração de dados considera isoladamente um ou mais elementos de um todo. Um SGBD é composto de uma coleção de arquivos inter-relacionados e de um conjunto de programas que permitem aos usuários acessar e modificar esses arquivos. O grande objetivo de uma BD é prover os usuários com uma visão abstrata dos dados. Isto é, o sistema omite certos detalhes de como os dados são armazenados e mantidos. Entretanto, para que o sistema possa ser utilizado, os dados devem ser buscados eficientemente. Esse conceito tem direcionado o projeto de estruturas de dados complexas para a representação de dados em BD. Uma vez que muitos usuários da BD não são treinados em computação, a complexidade está invisível para eles através de diversos níveis de abstração, os quais simplificam a interação do usuário com o sistema (KORTH & SILBERSCHATZ, 1985).

Os dados são armazenados de forma relativa a uma BD, mantidos e manipulados pelos programas de aplicação. A estrutura para caracterizar a BD pode ser percebida em três níveis (FIGURA 1):

1. Nível físico ou plano interno – representa a própria BD. O nível mais baixo de abstração descreve como os dados estão realmente armazenados. No nível físico, estruturas complexas de dados de baixo nível são descritas em detalhes.
2. Nível conceitual – representa todos os dados requeridos os quais podem ser armazenados numa BD. Este nível de abstração descreve quais dados estão armazenados de fato na BD e as relações que existem entre eles. Aqui a BD é descrita em termos de um pequeno número de estruturas relativamente simples. O nível conceitual é usado por administradores de BD, que podem decidir quais informações devem ser mantidas no mesmo.
3. Nível de visão ou plano externo – descreve os dados requeridos por um programa de aplicação. O mais alto nível de abstração mostra apenas parte da BD. Apesar do uso de estruturas mais simples do que no nível conceitual, alguma complexidade perdura devido ao grande tamanho da BD. O nível de visão ou plano externo é definido para simplificar esta interação com o sistema, que pode fornecer muitas visões para a mesma BD.

FIGURA 1 – Níveis de abstração de dados



## 2.4 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE BASE DE DADOS - CONCEITOS

Um SGBD é compreendido por um conjunto de programas o qual proporciona facilidades para manipular e manter os dados na base.

Estes dispositivos para controlar a porção de dados num controlador sistemático servem para assegurar que a integridade da base seja mantida.

Algumas características de um SGBD são:

- Independência de dados: é a habilidade de modificar a definição em um nível sem afetar a definição num nível mais alto. A BD tem dados independentes, isto é, isolamento entre a

maneira que os usuários percebem os dados e maneira que os dados são armazenados fisicamente. Todos os usuários enxergam os dados independentemente de sua estrutura física dos dados. Existem dois níveis de independência de dados:

- Independência física de dados - é a habilidade de modificar o nível físico sem a necessidade de reescrever os programas aplicativos. As modificações no nível físico são ocasionalmente necessárias para melhorar o desempenho.
  - Independência lógica de dados - é a habilidade de modificar o nível conceitual sem a necessidade de reescrever os programas aplicativos. As modificações no nível conceitual são necessárias quando a estrutura lógica da BD é alterada.
- 
- Dicionário de dados: a estrutura da BD é armazenada num dicionário de dados. Um dicionário de dados é um sistema especialmente usado para armazenar e recuperar informações sobre a estrutura definida para um sistema de BD. Um dicionário de dados contém informações sobre os dados na BD.
  - Estrutura de dados: é uma estrutura de base contendo grande quantidade de itens, podendo ser de uso limitado. O sistema de dados controlado provê facilidades para a estrutura de dados e pode ser expresso por relacionamentos freqüentemente complexos entre itens componentes.
  - Validação e recuperação: considerando os dados com melhor consistência existe a possibilidade de realizar a interpretação dos dados potencialmente mais vulneráveis a erros.



- Controle da redundância: mesmo que a tendência dos usuários seja a de manter dados redundantes, a base deve possibilitar a redução a um mínimo destas redundâncias. Deve-se ter em mente que uma excessiva redundância de dados é dispendiosa. Uma BD pode ser usada para monitorar e reduzir o nível de redundância.
- Visão dos usuários: uma BD pode prover um mecanismo eficiente de interface para criar recursos e atender às múltiplas visões dos usuários.

## 2.5 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BASE DE DADOS (SGBD) – ORACLE 7.0

O SGBD, é um conjunto de programas que permite o gerenciamento das tabelas que formam a base: suas tuplas (registros), e seus atributos (campos).

Para realizar tais tarefas, o SGBD deve apresentar as seguintes características:

- Independência de dados;
- Reduzir a redundância de dados;
- Minimizar a inconsistência;
- Compartilhar dados entre várias aplicações;
- Aplicar restrições de segurança;
- Manter a integridade;
- Formar padrões;
- Equilibrar as necessidades conflitantes.

Uma das principais companhias mundiais, trabalhando na área de BD, é a ORACLE Corporation que foi uma das primeiras a adotar o Modelo Relacional e desenvolver o SGBD ORACLE, o qual é projetado para diferentes tipos de *hardware* (máquinas) e *software* (sistemas operacionais). O ORACLE também tem a característica de estar constantemente evoluindo com novas potencialidades, as quais são atualizadas, exportadas ou migradas segundo o caso (ORACLE, 1992).

O ORACLE funciona com uma estação a cargo do ABD, gerenciando outras estações usuárias ou terminais que são interconectados através de redes (AULT, 1995; ORACLE, 1992).

Na metodologia, apresenta as seguintes etapas (ORACLE, 1989; ORACLE, 1991):

- Estratégia, para determinar que necessidades devem ser satisfeitas e qual será o seu custo;
- Análise, para especificar os requerimentos dos usuários;
- Desenho, para decidir qual deve ser o visual de apresentação do sistema e que ferramentas e componentes serão usados;
- Implementação, com a construção de sistema, a Documentação para o usuário em forma de manuais e a Transição para a incorporação do sistema no ambiente de trabalho;
- Produção, já com o sistema em pleno uso e com a criação de um ambiente de manutenção e melhoramento do sistema na medida em que surjam as necessidades ou se apresentem os problemas.

O uso do ORACLE, não limita o uso de outros GIS e possibilita a interligação com outros tipos de *softwares*.

## 2.6 ESTRUTURA GERAL DA BASE DE DADOS - CONCEITOS

O GIS tem adaptado três estruturas adequadas para uma base de dados multifinalitária. São os modelos: hierárquico; de rede; relacional. Aqui será apresentado apenas o modelo relacional, empregado na construção da BDG.

Uma estrutura relacional pode ser imaginada como uma coleção de relações normalizadas (entidades) definidas numa coleção de domínios. Uma estrutura normalizada pode ser vista pelo usuário como uma tabela dimensional, onde cada linha da tabela, conhecida como tupla, corresponde a um elemento de relação. Cada coluna, conhecida como um atributo, contém entradas que pertencem à coleção/grupo de valores, constituindo o domínio subalterno da coluna. Um domínio é um grupo abstrato de valores de dados simples, onde o domínio subalterno de uma coluna consiste da exatidão daqueles valores que aparecem como entradas naquela coluna.

Uma importante característica de uma estrutura de dados relacional é que associações entre tupla são representadas por valores de dados em colunas construídas com um propósito comum. De todos atributos numa tabela particular de entidades, existe usualmente um atributo com valores que unicamente identificam as entradas tuplas naquela tabela de entidades. Este atributo é dito ser a chave primária. Uma chave primária não é restritiva a certos atributos simples. Pode também ser a combinação de diversos atributos os quais juntos têm a única propriedade de identificação. Uma tabela de entidades pode algumas vezes conter mais de uma combinação de atributos proporcionando a única propriedade de identificação.

Sintetizando, pode-se dizer que o modelo relacional apresenta os seguintes aspectos:

### 1. Estrutura de dados

- Domínios (uma parte da tupla);
- Relações n-arias [atributos (coluna), tupla (linha)];

### 2. Integridade de dados

- Chave primária identificam as entradas tuplas na tabela de entidades;

### 3. Manipulação de dados

- Álgebra relacional (consiste em um conjunto de operações que usam uma ou duas relações como entrada e produzem uma nova relação como resultado. As operações fundamentais na álgebra relacional são: selecionar, projetar, produto cartesiano, renomear, união, diferença de conjuntos).

## 2.7 CONCEITOS BÁSICOS DE GIS

Os GIS, são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (ARONOFF 1989, BURROUGH 1994).

As principais características do GIS são:

- Integrar, numa BD única, informações espaciais provenientes de dados cartográficos,

dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos digitais de terreno;

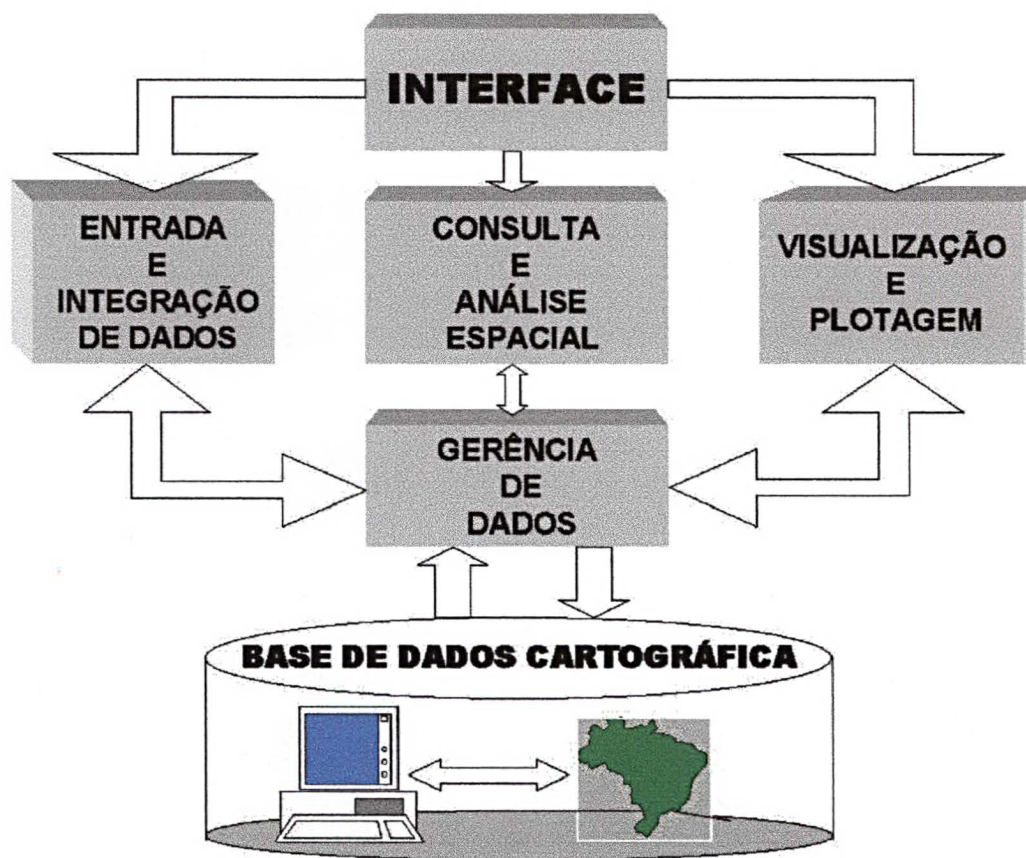
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados.

## 2.8 ESTRUTURA GERAL DE UM GIS

Numa visão abrangente, pode-se considerar que um GIS tem os seguintes componentes (FIGURA 2):

- interface com usuário;
- entrada e integração de dados;
- funções de processamento;
- visualização e plotagem;
- armazenamento e recuperação de dados da BD.

FIGURA 2 – Arquitetura de Sistema de Informação Geográfica



Fonte: Adaptado Câmara & Medeiros (1996)

Esses componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um GIS deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de BD que oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

## 2.9 TIPOS DE DADOS ESPACIAIS

Existem quatro tipos de entidades geométricas para codificar dados espaciais: pontos, linhas, polígonos e superfícies contínuas (VALENZUELA, 1990). O elemento básico de referência é o ponto ao qual estão associadas as grandezas geodésicas que compõe a BD.

- Pontos - (não possuem dimensão, objetos que têm posição no espaço mas não têm comprimento) são os tipos simples de dados espaciais. Eles podem ser abrangentes considerando todas entidades espaciais que são posicionadas ou descritas por um simples par de coordenadas (X, Y).

Os dados não espaciais ou os conjuntos de atributos descrevendo as escalas de propriedades requeridas para as entidades, são armazenados usualmente em sistemas de informação controlados por modelos relacionais.

A distribuição espacial de pontos é representada em forma digital em dois tipos básicos de modelo espacial: mosaico ou raster; modelos vetoriais.

## 2.10 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Os MDT são um dos maiores constituintes do processamento de informação geográfica. Proporcionam uma base para um grande número de aplicações nas ciências da Terra e engenharia. No GIS, os MDT proporcionam uma oportunidade para modelar, analisar e visualizar fenômenos associados à topografia e outras superfícies.

Entre os usos de MDT pode-se citar (BURROUGH, 1986):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte para projeto de estradas e barragens;
- Cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio e análises de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Um MDT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer, com atributos denotados de  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície. Este conjunto de pontos é também denominado de amostras tridimensionais (3D).

De acordo com Pettinati (1983), a criação do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento de amostras  $(x, y, z)$  que descrevem a superfície real, de maneira que todo o conjunto simule de modo ideal o comportamento da superfície original.

No caso geodésico, como exemplo, existem modelos matemáticos (discretos) com dados distribuídos de forma regular no espaço, os quais permitem recuperar o MDT.

Alguns autores argumentam que o termo Modelo Digital de Elevação deveria ser usado ao invés de MDT quando meramente o relevo é representado, devido ao termo “terreno” implicar freqüentemente em outros atributos ambientais além da altitude da superfície (BURROUGH, 1986). Embora esta questão seja bem aceita, o termo “MDT” é usado uma vez que permite a possibilidade de incluir outros atributos ambientais além da topografia, como um meio de aprimorar a representação digital de uma porção do terreno.



Num sentido mais geral, um MDT pode ser usado como um modelo digital de qualquer superfície representativa (por exemplo, horizontes geológicos; densidades populacionais, temperatura do ar; gravidade; etc).

#### 2.10.1 Modelo matricial ou Raster

Nesta representação, o espaço é apresentado como uma matriz  $(m, n)$ , composta de  $m$  colunas e  $n$  linhas, onde cada célula possui um valor correspondente ao atributo estudado e é individualmente acessada pelas suas coordenadas  $(m, n)$ .

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno (CÂMARA & MEDEIROS, 1996).

O modelo da estrutura raster, pelas suas características matriciais requer uma grande quantidade de espaço de armazenamento e consequentemente, um tempo maior para processamento, geração e edição de um mapa.

As vantagens são: estrutura de dados simples, entrada dos dados rápida e independente do operador, superposição e combinação de dados mapeados com sensoriamento remoto, o que possibilita vários tipos de análises espaciais, facilita a simulação devido a unidade espacial ter o mesmo tamanho e forma para toda a imagem, além disso, a tecnologia é barata e continua em franco desenvolvimento.

As desvantagens são: grandes volumes de dados e perda de informações no caso de redução do volume da célula. Não possibilita análise da rede. O produto final não possui alta

qualidade geométrica. As transformações de projeções consomem muito tempo, a menos que tenha algoritmos e *hardware* especiais. (PACÍFICO, 1996).

A estrutura utilizada para o desenvolvimento do trabalho é vetorial, mas como este trabalho visa integrar dados geográficos, torna-se importante manter a terminologia usada no modelo raster, afinal esta é uma base de dados multifinalitária.

#### 2.10.2 Modelo vetorial

A estrutura de dados vetorial é constituída por elementos de forma e tamanho variáveis representados por três tipos de entidades: pontos, retas e polígonos. Os pontos são chamados de vértices e definidos por seus vértices extremos, gerando vetores. Os polígonos são definidos por um conjunto de vetores e definem regiões. A estes dados são associadas informações que identificam a classe do ponto, linha ou polígono e também das regiões implicitamente definidas pelos polígonos.

Tem-se como vantagens: possibilitam boa representação de fenômenos geográficos, a estrutura de dados compacta, a topologia é descrita com uma rede de arcos, fornece uma boa precisão gráfica para seus produtos e generalização de gráficos e atributos.

As desvantagens são: a aquisição dos dados requer muito tempo e é trabalhosa, as estruturas de dados são complexas, a simulação é difícil devido à diferença na forma topológica de cada unidade, e a topologia é mais cara em termos sofisticados *hardware* e *software* (PACÍFICO, 1996).

## CAPÍTULO 3

### 3. ELEMENTOS GEODÉSICOS E GRAVIMÉTRICOS

#### 3.1 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA (SGR)

Vista do espaço, a Terra assemelha-se a uma esfera. Na realidade, sua forma é afetada pela rotação e variações de densidade de suas rochas e componentes minerais (ROBINSON et al, 1978). Devido à complexidade de se trabalhar com a forma real da Terra, os cartógrafos aproximam sua superfície via modelos elipsoidais. Neste processo de aproximação, inicialmente se considera o Geóide, superfície equipotencial do campo da gravidade da Terra, a qual pode ser obtida, em 1ª aproximação, nas regiões oceânicas, pela superfície determinada pelo Nível Médio do Mares (N.M.M). O Geóide tem a forma aproximada de um elipsóide de revolução. Um elipsóide de revolução é um sólido gerado pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor dos pólos; sua superfície externa é usada como superfície de referência básica para a Geodésia.

O elipsóide, em vista de sua definição exata, é o elemento básico da representação cartográfica. Neste contexto, a base de dados é primariamente definida em relação a esta superfície, porém considerando também o Geóide, como nas coordenadas geodésicas verticais e as grandezas gravimétricas.

As constantes geodésicas fundamentais definem o elipsóide de revolução adotado como superfície de referência. E com o advento da era espacial, concluiu-se que o SGR devia ser definido a partir de parâmetros dinâmicos. O elipsóide de referência internacional 1967

baseado em constantes físicas e geométricas fundamentais, estabelecido pela *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) e *International Association of Geodesy* (IAG) em 1970, (BULLETIN GEODESIQUE, 1971).

$$a = 6.378.160 \text{ m}$$

$$J_2 = 10827 \times 10^{-7}$$

$$GM = 398603 \times 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\omega = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

O último modelo elipsóidico estabelecido pelo IUGG foi o SGR80, o mesmo marcou uma transição na Geodésia, pela precisão atingida na determinação dos seus parâmetros.

A partir daí, a ênfase maior está na determinação dos parâmetros do geopotencial e grandezas dinâmicas (e.g. velocidade de rotação, variações temporais no geopotencial e rotação), além de parâmetros associados à sua orientação em relação a Terra. O passo além dos modelos geométricos físicos é a busca de modelos estruturais da Terra que respondam aos aspectos geodinâmicos.

### 3.2 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO – COORDENADAS GEODÉSICAS HORIZONTAIS

Um objeto geográfico qualquer somente poderá ser localizado se puder ser descrito em relação a outros objetos cujas posições sejam previamente conhecidas, ou se tiver sua localização determinada em uma rede coerente de coordenadas. Quando se dispõe de um

sistema de coordenadas fixas, pode-se definir a localização de qualquer ponto na superfície terrestre.

Atualmente no Brasil, utiliza-se como base do Sistema de Referência o elipsóide da IUGG, homologado em 1967. Este elipsóide é orientado de forma não geocêntrica no Datum Chuá com a latitude astronômica, longitude astronômica e latitude geodésica, longitude geodésica ( $\varphi_a$ ,  $\lambda_a$  e  $\varphi_g$ ,  $\lambda_g$ ) definidas como:  $\varphi_a = 19^\circ 45' 41,34'' \pm 0,05''$ ,  $\lambda_a = 48^\circ 06' 07,80'' \pm 0,08''$  e  $\varphi_g = 19^\circ 45' 41,6527''$  S,  $\lambda_g = 48^\circ 06' 04,0639''$  W Gr, adotando-se o valor de ondulação geoidal  $N = 0$ , e para as componentes da deflexão da vertical, componente meridiana  $\xi = -0,31''$  e a componente 1° vertical  $\eta = 3,59''$ . O sistema assim obtido é denominado de Sistema Geodésico Brasileiro 1969.

Um ponto na superfície terrestre referido ao elipsóide de referência, pode ser representado por um valor de latitude e longitude.

A latitude geodésica é o ângulo formado pela normal que passa pelo ponto e sua projeção sobre o plano do equador. Por convenção, a latitude geodésica é positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério sul.

A longitude geodésica é o ângulo do diedro formado pelo meridiano médio de Greenwich e o meridiano que passa pelo ponto. Por convenção, a longitude geodésica é positiva contada por leste e negativa contada por oeste de Greenwich.

De acordo com a norma do IBGE (1983), os levantamentos de pontos geodésicos da rede de triangulação fundamental desenvolvem-se ao longo dos arcos de paralelos e meridianos, sendo as estações integrantes distanciadas entre si de 15 a 25 km, no máximo. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das cadeias será ditado pelo processo de urbanização, mantendo-se as estações afastadas de no máximo 5 km. Os pontos decorrentes destinam-se ao apoio cartográfico, ao suporte e controle das grandes obras de engenharia e

aos estudos científicos em geral. Projetada para um erro relativo máximo entre estações de 1/100.000, a rede brasileira foi recentemente reajustada e atualizada com a aplicação do GPS.

Os levantamentos regionais serão desenvolvidos de acordo com a área a ser atendida, sendo usuais estações afastadas de 10 a 20 km. Nas regiões metropolitanas serão efetuados de modo a que o afastamento máximo entre estações seja de 5 km. Para as áreas mais desenvolvidas espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de 1/50.000, contrapondo-se nas áreas menos desenvolvidas 1/20.000. Tais levantamentos serão utilizados na elaboração de cartas gerais, na locação e controle de obras de engenharia, nos levantamentos e parcelamentos de áreas de grande e médio valor, dentre inúmeras outras aplicações. Também neste particular, cabe lembrar que o GPS permite superar em muito esta expectativa de precisão.

Os levantamentos locais desenvolvem-se em função dos objetivos específicos a serem atingidos em cada obra, podendo se dispor as estações com afastamentos que podem variar de 5 a 10 km. Nas regiões metropolitanas adotam-se o espaçamento de 0,5 a 2 km. Aplicam-se nos levantamentos e parcelamentos em áreas de médio e pequeno valor, e na locação e controle de obras de engenharia.

Nos levantamentos horizontais são utilizados os procedimentos de triangulação, trilateração, poligonação e posicionamento relativo e absoluto de pontos com técnicas espaciais. Os diversos processos podem ser aplicados isoladamente ou em conjunto, mantendo-se, contudo, a precisão operacional exigida para cada um. Outros procedimentos para posicionamento podem vir a ser admitidos, desde que atendam às especificações mínimas necessárias e permitam alcançar a exatidão preconizada (IBGE, 1983).

### 3.3 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO – COORDENADAS GEODÉSICAS VERTICAIS

No Brasil o datum altimétrico onde foi definido o nível zero, ou melhor  $h = 0$  da rede altimétrica fundamental, continua sendo um ponto sobre a régua de um marégrafo instalado no porto de Imbituba, Estado de Santa Catarina, em trabalho supervisionado pela Fundação IBGE. O datum utilizado para definição das altitudes é o geóide. A materialização do geóide pode ser feita na costa oceânica através do registro das variações do nível do mar usando marégrafos, estabelecidos em pontos adequados. O nível médio obtido após grandes intervalos de tempo (idealmente  $\geq 18$  ano) é considerado como uma aproximação do geóide.

O valor médio, contudo, devido às influências sistemáticas presentes nos registros maregráficos, como consequência da dinâmica do oceano, não é rigorosamente coincidente com o geóide. O afastamento entre o nível médio do mar e o geóide é chamado de topografia da superfície do mar e pode atingir valores iguais ou superiores a 1 metro (TORGE, 1980).

Segundo Rapp (1980), as variações periódicas do nível do mar são, em sua maior parte, eliminadas pela adoção do nível médio. Todavia, influências não-periódicas, tais como algumas componentes da maré e efeitos oceanográficos e meteorológicos aproximadamente constantes, afetam o valor médio. Embora a precisão interna da média anual dos valores das observações do nível do mar seja da ordem de 1 cm, podem ocorrer desvios ocasionais da ordem de 10 cm, ou maiores, entre médias anuais, em função dos efeitos geradores da topografia da superfície do mar.

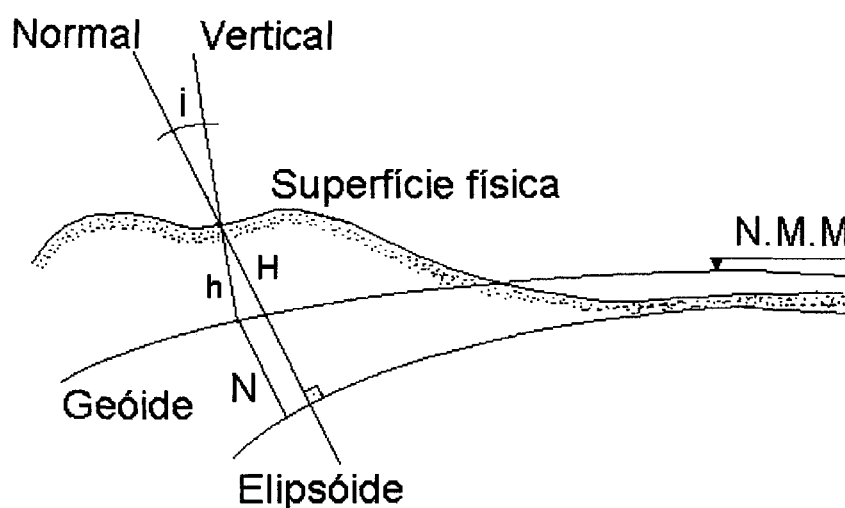
Assim, não obstante a fácil definição do geóide, atualmente o acesso físico a esta superfície só pode ser conseguido a menos da topografia da superfície do mar, o que gera diferenças de datum entre redes verticais de países distintos, que podem atingir valores da

ordem de 1 metro (RAPP, 1980).

A altitude referida ao geóide é denominada de ortométrica e a referida ao elipsóide é a altitude elipsóidica. Para diversas aplicações tal como a redução de bases ao elipsóide, podem ser utilizadas altitudes referidas ao elipsóide de referência, tais como as obtidas com GPS.

A altitude ortométrica ( $h$ ) tem sentido físico e é a distância do Geóide ao ponto na superfície física, medida ao longo da vertical. A altitude elipsóidica ( $H$ ) tem somente significado geométrico. A deflexão da vertical ( $i$ ), em território brasileiro onde não existam massas topográficas acentuadas, varia  $\pm 3''$ . As duas altitudes se relacionam de maneira aproximada pela expressão  $N \cong h - H$ , porém válida para todos os propósitos práticos, onde  $N$  é a altitude geoidal ou ondulação geoidal (FIGURA 3).

FIGURA 3 – Relação entre o geóide e o elipsóide



Fonte: adaptado de Costa (1998)

Conforme as normas do IBGE de 1983, os levantamentos altimétricos de alta precisão desenvolvem-se na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas e servindo por ramais às cidades, vilas e



povoados à margem das mesmas e distantes até 20 km. Os circuitos apresentam-se com perímetro menor que 400 km, com estações de Referências de Nível (RRNN), espaçadas de no máximo 3 km, no interior das linhas formadoras dos circuitos. Nas áreas metropolitanas desenvolvem-se em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km.

Os levantamentos geodésicos de precisão, nas áreas mais desenvolvidas, obedecerão o critério de circuitos de no máximo 200 km de perímetro, referenciados àqueles classificados como de alta-precisão. As estações são espaçadas no interior das linhas de, no máximo, 3 km. Para as áreas menos desenvolvidas o desdobramento configura-se em circuitos ou linhas, em função das características regionais, mantendo-se o afastamento máximo de 3 km entre estações. Os resultados atendem de forma geral ao apoio cartográfico e a locação e controle de obras de engenharia.

Os levantamentos locais, vinculados aos de alta precisão ou de precisão, configuram-se em circuitos ou linhas, em função do atendimento a que se destinem, sendo utilizados principalmente, nos levantamentos e parcelamentos de propriedades, atendimento de pequenas obras e estudos de drenagem e gradientes.

A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada pelas diferenças entre os desníveis de nivelamento e contra-nivelamento, seção a seção e acumulado na linha, observando-se os valores limites de  $3\text{mm}\sqrt{k}$  ( $k$  = média da distância nivelada e contra-nivelada em quilômetros), para os levantamentos de alta precisão,  $6\text{mm}\sqrt{k}$  para os de precisão em áreas mais desenvolvidas e o de  $12\text{mm}\sqrt{k}$  para os levantamentos locais. A manutenção deste controle permitirá se alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

No Brasil, a única correção de natureza física aplicada ao nivelamento de precisão é a da correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais. Outros efeitos físicos, tal como aqueles das heterogeneidades da crosta, não são tratados, sendo simplesmente considerados em conjunto com os erros de fechamento dos circuitos. Desta forma, a altitude é apenas aproximada à ortométrica.

### 3.4 REDE GRAVIMÉTRICA FUNDAMENTAL BRASILEIRA (RGFB)

Em Geodésia é fundamental que os valores da gravidade estejam referidos a um sistema de referência global. O primeiro datum gravimétrico mundial foi o de Viena, adotado em 1900 e que vigorou até 1909, quando foi substituído pelo datum de Potsdam. Em ambos os casos o referencial era constituído de um único ponto onde o valor da gravidade foi determinado diretamente através de pêndulos. O Datum de Potsdam vigorou até 1971, quando uma nova idéia foi concebida, segundo a qual, a referência não é mais um único ponto, mas uma rede internacional de estações gravimétricas distribuídas por diversos países. De acordo com esta nova concepção a Assembléia Geral da I.U.G.G., reunida em Moscou, adotou IGSN71 como novo Datum. A IGSN71 é o atual Datum gravimétrico mundial, que contém 1854 estações, cujos valores de gravidade foram determinados com desvios padrão inferiores a 0,1 mGal, a partir do ajustamento de 10 medidas absolutas da gravidade, obtidas com gravímetros, e aproximadamente 24000 medidas relativas (IAG, 1974).

### 3.5 DIVISAS MUNICIPAIS

No contexto deste trabalho, a base de dados gráfica representa as divisas municipais do Estado do Paraná, referidas ao SGB, o qual adota o elipsóide de referência 1967, com parâmetros de orientação definidos para o Datum Chuá conforme a Resolução da Presidência do IBGE n.º 22 de 21 de julho de 1983. As divisas municipais adotadas, são definidas pela SEMA, com base na Malha Municipal Digital do Brasil, definida pelo (IBGE, 1996), e é composta das linhas definidoras das divisas municipais, que constituem a Divisão Político-Administrativa do País, nos seguintes formatos: MICROSTATION – DGN; ARCINFO – EOO e AUTOCAD - DXF.

Para sua elaboração utilizou-se o Arquivo Geral Municipal (AGM), organizado e confeccionado pelo Departamento de Estruturas Territoriais – DGC/DETRE, estando historicamente constituído desde 1991. Na sua definição adotou-se cartas topográficas na melhor escala disponível (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000), em cada região.

Nessa versão do produto, os arquivos são formados pelas linhas, compostas por pontos expressos em coordenadas geodésicas com precisão de segundos, dos polígonos municipais e um rótulo de identificação do polígono (código do município de acordo com o geocódigo do IBGE) posicionando geograficamente o ponto de referência da sede municipal.

### 3.6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS

O GPS é um sistema baseado em satélites, o mesmo provê a determinação de latitude, longitude e altitude elipsóidica em qualquer ponto da Terra. Os satélites enviam mensagens

específicas que são decodificadas por um receptor GPS. A distância entre o satélite e a antena do receptor GPS pode ser calculada a partir dos sinais enviados e das coordenadas do satélite. Para maior precisão, a localização do ponto em questão é determinada utilizando-se a distância e a diferença de fase das ondas portadoras (os receptores GPS geodésicos operam com duas portadoras L1 e L2) referentes a pelo menos quatro satélites. Os receptores GPS variam em precisão e funcionalidade. Por exemplo, alguns receptores transformam as coordenadas geocêntricas, referidas ao *World Geodetic System 1984* (WGS84) usado pelo *Defense Mapping Agency Aerospace* (DMA), (DENKER, 1986), em coordenadas locais a partir dos parâmetros de transformação injetados no receptor através de teclado. Neste caso, é desnecessária a transformação na redução de observações.

No processamento de redução das observações, as coordenadas referidas ao WGS84  $(\varphi_1, \lambda_1, h_1)$  são sempre transformadas para o SGB  $(\varphi_2, \lambda_2, h_2)$  através das expressões:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi \quad (1)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda \quad (2)$$

$$h_2 = h_1 + \Delta h \quad (3)$$

onde as correções  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$  e  $\Delta h$  são calculadas pelas fórmulas diferenciais (MOLODENSKY et al., 1962).

De forma geral, quando visa-se a determinação da altitude em relação ao Geóide, existe a necessidade de considerar em relação a qual modelo elipsoidal, foi determinada a superfície geoidal em uso. Assim, deve-se considerar ainda os parâmetros de transformação de coordenadas, do *Terrestrial Reference Frame* (ITRF) ou WGS84 para este sistema. No caso brasileiro, são conhecidos os parâmetros de transformação do WGS84 para o *South*

*American Datum 1969* (SAD69), determinados ainda com o sistema TRANSIT. Também, as cartas geoidais do SGB foram construídas em relação ao SAD69 (IBGE, 1993). Assumida a ondulação geoidal como conhecida no SAD69, deve-se considerar então uma dupla transformação de coordenadas para o posicionamento vertical relativo entre dois pontos  $P'$  e  $P''$ : ( $\phi', \lambda', h' \rightarrow X', Y', Z'$ ; com o posicionamento relativo,  $X'', Y'', Z'' \rightarrow \phi'', \lambda'', h''$ ). É evidente que nesta transformação deve-se considerar que as precisões das redes horizontal e vertical são heterogêneas e que quando efetuada a transformação para coordenadas tridimensionais, existe uma propagação dos erros destas. No retorno para coordenadas geodésicas no segundo ponto, visando a separação de  $h''$ , esta altitude estará afetada pelas precisões de  $\phi'$  e  $\lambda'$ , sabidamente inferiores à de  $h'$ .

A precisão do posicionamento vertical com GPS nunca será superior às da ondulação geoidal. (FREITAS & LUZ, 1995)

### 3.7 CLASSIFICAÇÃO OFICIAL DE REDES GPS - IBGE

A revolução que o sistema GPS vem trazendo aos procedimentos de levantamentos geodésicos pode ser avaliada pela classificação dos levantamentos executados com a sua utilização. Conforme o Boletim de Serviço 1602 de 01 de agosto de 1983, que contempla as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos geodésicos, a categoria de alta precisão (âmbito nacional) subdivide-se em dois subgrupos: científico e fundamental (ou de 1ª ordem), com precisões associadas melhores que 1/500.000 e 1/100.000 respectivamente. Nos dias de hoje, os posicionamentos geodésicos com o GPS, são capazes de facilmente fornecer resultados com precisões da ordem de 1 a 2 ppm (1/1.000.000 a 1/500.000), passíveis de

serem obtidos por qualquer empresa usuária de receptores que observam a fase da portadora. Além disso, em função das aplicações, identifica-se três categorias GPS dentro do nível científico (IBGE, 1983):

- (a) Geodinâmica global e regional, com exatidão de 0,01 ppm.
- (b) Sistemas Geodésicos Nacionais, com exatidão da ordem de 0,1 ppm ou melhor.
- (c) Sistemas Geodésicos Nacionais (redes secundárias), com exatidão melhor que 1 ppm.

### 3.8 PROGRAMA MAPGEO (MAPA GEOIDAL DO BRASIL)

A determinação da superfície geoidal está estritamente relacionada ao problema de valor de contorno da Geodésia física. Este pode ser solucionado em termos de uma série de funções harmônicas esféricas ou na forma de integrais (VANICEK & KRAKIWSKI, 1986) (BLITZKOW, 1986).

As altitudes geoidais no Brasil podem ser melhoradas regionalmente de dois modos distintos: densificando as observações GPS sobre a rede de nivelamento e melhorando a distribuição de dados gravimétricos. Os dados gravimétricos são importantes na complementação da altura esferoidal obtida pelo modelo do geopotencial. Este fornece a componente de longo comprimento de onda. A componente de curto comprimento de onda é obtida usando os dados gravimétricos na integral de Stokes modificada. (BLITZKOW et al., 1991).

Numa primeira fase, foi feita uma comparação entre as altitudes geoidais por satélite e as alturas esferoidais exclusivamente com o modelo *Satellite Pottencial Coeficient Model*

(GEM-T2). Obteve-se uma diferença padrão de 1,9 m, com um valor máximo de 6 m, num total de 521 pontos. Usando as altitudes geoidais por satélite e as alturas esferoidais calculadas em blocos de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  foi traçada a carta geoidal. Os valores estão referidos ao sistema SAD69 através dos seguintes parâmetros de translação: (FORTES et al., 1989)

$$TX = 66,87 \text{ m}$$

$$TY = -4,37 \text{ m}$$

$$TZ = 38,52 \text{ m}$$

A partir daí, o IBGE em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP/PTR), desenvolveu o programa MAPGEO, de interpolação de altitudes geoidais para o Brasil. Onde existem pontos de satélite, o erro absoluto esperado para o mapa é de 3 metros e o relativo de 1 cm/km.

### 3.9 GRANDEZAS GRAVIMÉTRICAS

A IAG, objetivando homogeneizar os levantamentos gravimétricos, instituiu como referencial a IGSN-71. (IBGE, 1983)

A gravidade é a resultante da força de atração gravitacional por unidade de massa e a força centrífuga por unidade de massa. Uma estação gravimétrica é o ponto no qual se determina gravidade. Este ponto têm usualmente definida a sua posição geográfica, a altitude ortométrica e outros dados de interesse à representação do campo de gravidade. O levantamento gravimétrico, desenvolvido na implantação de estações gravimétricas é feito por meio de linhas gravimétricas denominadas de poligonais, as mesmas são obtidas com a ligação sucessiva das estações gravimétricas implantadas entre duas estações básicas de

referência. Se a primeira estação coincidir com a última, tem-se uma linha gravimétrica fechada ou de base simples; se a primeira for distinta da última, tem-se uma linha gravimétrica aberta ou de base dupla.

No caso brasileiro, a rede gravimétrica fundamental é um conjunto específico de estações gravimétricas, coerente com a IGSN-71 e a qual foi reajustada a uma rede de 07 (sete) estações absolutas implantadas pelo Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas em parceria com a Universidade de Hannover (GEMAEL & ROSIER, 1991). Estas estações são: Santa Maria – RS, Curitiba – PR, Valinhos – SP, Vassouras – RJ, Viçosa – MG, Brasília – DF, Terezina – PI, as quais fazem parte da RENEGA (Rede Nacional de Estações Gravimétricas absoluta). A Rede Gravimétrica de Referência no Brasil é de responsabilidade do IBGE, compartilhada com o Observatório Nacional (ON).

O instrumento utilizado para determinação relativa da gravidade é o gravímetro. Suas vantagens são: precisão, portabilidade e facilidade de operação.

Os levantamentos de alta precisão, Fundamental ou 1ª Ordem, têm por finalidade prover valores de controle para a gravidade nos trabalhos regionais e locais. Vinculados à IGSN-71, desenvolvem-se circuitos, com estações espaçadas, preferencialmente de, no máximo, 100 km ou uma distância que permita um tempo de retorno às adjacentes, inferior a 48 horas. Os valores finais para a gravidade são determinados através de ajustamento, tomando-se as estações da IGSN-71 como fixas e com fechamento máximo, por circuitos, de 0,05 mGal.

Os levantamentos de precisão ou regional são apoiados nas estruturas decorrentes dos levantamentos de alta precisão, destinando-se ao atendimento das necessidades regionais.

Os levantamentos para fins de detalhamento, desenvolvidos em circuitos ou linhas, são normalmente destinados à obtenção de cartas de iso-anômalas.



### 3.9.1 Redução das medidas gravimétricas

As reduções gravimétricas são fundamentais para o estudo do geopotencial e gravidade, em vista de grande parte das medidas ou determinações ocorrerem na superfície física da Terra e os valores de interesse são aqueles sobre outra superfície, tal como a do Geóide.

Os valores medidos da gravidade, mesmo depois de depurados dos erros instrumentais e da perturbação luni-solar, estão sujeitos a diferentes tipos de reduções, dependendo do fim a que se destinam.

Em Geodésia, as anomalias da gravidade são os elementos de maior importância, principalmente no que se refere à determinação do Geóide e desvios da vertical.

As anomalias podem assumir diferentes definições. Dependendo da forma de redução e efeitos físicos considerados, podem ser classificadas em:

- Anomalia *free-air*
- Anomalia Bouguer
- Anomalia isostática

Define-se por anomalia da gravidade à grandeza:

$$\Delta g = g - \gamma \quad (4)$$

onde:

$\Delta g \rightarrow$  anomalia da gravidade no ponto;

$g \rightarrow$  é o valor da gravidade real no Geóide, e é obtido considerando-se o valor da gravidade medida no ponto, a altitude ortométrica, e hipóteses de redução;

$\gamma \rightarrow$  valor da gravidade no ponto do modelo elipsoidal, obtido pela projeção normal do ponto na superfície física.

### 3.9.1.1 Anomalia *free-air* (ar livre ou Faye)

Para “reduzir ao nível médio dos mares” a gravidade observada na superfície física da Terra introduziu-se a chamada “correção do ar livre” ou correção de Faye ( $C_F$ ); a anomalia resultante recebe o mesmo nome da correção (GEMAEL, 1981):

$$\Delta g_F = g + C_F - \gamma \quad (5)$$

A redução de Faye para uma estação gravimétrica com altitude ortométrica  $h$  é dada por:

$$C_F = \frac{\partial g}{\partial h} h \quad (6)$$

sendo  $\partial g / \partial h$  o gradiente vertical da gravidade. Nos trabalhos rotineiros de Geodésia podemos utilizar o gradiente da gravidade normal  $C_F = 0,3086h$ . Com  $h$  em metro e  $C_F$  em mGal, resultando para anomalia do ar livre:

$$\Delta g_F = g + 0,3086h - \gamma \quad (7)$$

### 3.9.1.2 Anomalia de Bouguer

A remoção das massas topográficas ou massas externas ao geóide para legitimar a aplicação da integral de Stokes se obtém empregando, além da redução anterior, a chamada correção de Bouguer ( $C_B$ ), (GEMAEL, 1981):

$$\Delta g_B = g + C_F + C_B - \gamma \quad (8)$$

A remoção de tais “massas topográficas”, bem como o preenchimento das bacias oceânicas por material de mesma densidade que o da crosta terrestre, é executado em duas fases:

1. Redução modificada de Bouguer: é a que considera as massas da região “próxima” à estação, dita “zonas literais de Hayford”; é constituída por uma calota esférica cujo pólo é a estação e cujo raio vale 166,7 km.
2. A redução modificada de Bouguer ou eliminação das massas topográficas num raio de 166,7 km, pode ser escrita:

$$C_B = -A - B + C \quad (9)$$

O primeiro termo (A) constitui a correção de Bouguer propriamente dita: corresponde à componente vertical da atração exercida por um platô horizontal de espessura  $h$  sobre um ponto de massa unitária situado à sua superfície, ( $A = 0,1118 h$ ).

O segundo termo (B) é a diferença entre as componentes verticais da atração produzida pela “calota” e pelo platô de Bouguer. Serve, pois, para transformar o platô numa “calota” de mesma espessura estendida até 166,7 km da estação gravimétrica.

O terceiro termo (C) da correção do terreno ou topográfica é o de menor valor, em geral negligenciável, mas de obtenção muito complexa; elimina as massas topográficas irregulares em relação à “calota”.

Assim tem-se:

$$\Delta g_B = g + C_F + C_B - \gamma \quad (10)$$

ou,

$$\Delta g_B = g + 0,1968h - B + C - \gamma \quad (11)$$

### 3.9.1.3. Anomalia Isostática

A isostasia postula a existência de um estado de equilíbrio na litosfera sob o efeito das

ações decorrentes da gravidade. Aos excessos (montanhas) e às deficiências (oceanos) de massa em relação ao Geóide correspondem massas internas de “compensação”.

Se quiser-se ainda considerar a circunstância de achar-se a maior parte da crosta terrestre em equilíbrio isostático impõe-se, além das anteriores, mais uma correção ( $C_I$ ), obtendo a anomalia isostática :

$$\Delta g_I = g + C_F + C_B + C_I + C_{TI} + C_{EI} - \gamma \quad (12)$$

onde:

$C_I \rightarrow$  sai de tabelas em função da topografia.

$C_{TI} \rightarrow$  topografia e isostasia.

$C_{EI} \rightarrow$  correção do efeito indireto ou efeito Bowie.

Os mecanismos de compensação isostática em Geodésia são:

- Pratt Hayford, a densidade é constante, varia a profundidade de compensação.
- Airy-Heiskanen, a profundidade de compensação é constante, varia a densidade do material subjacente (GEMAEL, 1981).

### 3.10 POTENCIAL DA GRAVIDADE OU GEOPOTENCIAL

Como o problema fundamental da Geodésia é buscar a descrição do campo da gravidade externo (campo gravitacional mais o campo centrífugo). Torna-se importante

conhecer as superfícies equipotenciais e em particular buscar uma de referência. A mais conveniente é o Geóide.

Percebe-se que a nível intracontinental, o Geóide é cercado de massas (internas e externas) isto implica que as soluções mais simples dos campos conservativos não são diretamente aplicados. A Geodésia pretende simplificar este problema com a compensação ou eliminação destas massas externas.

E para tanto faz-se necessário conhecer o potencial externo ou geopotencial e deduzir a superfície equipotencial. (FREITAS, 1997).

Considerando a Terra real tem-se:

$$W = V + Q \quad (13)$$

$$U = Z + Q \quad (14)$$

$$T = W - U = V - Z \quad (15)$$

$$V = T + (Z_0 + Z) \quad (16)$$

Onde:

$W \rightarrow$  Geopotencial

$V \rightarrow$  potencial gravitacional da terra

$Q \rightarrow$  potencial centrífugo

$T \rightarrow$  potencial perturbador observado (ou deduzido de observações)

$U \rightarrow$  esferopotencial

$Z_0 \rightarrow$  potencial de uma esfera  $GM/R$

$Z \rightarrow$  potencial gravitacional do elipsóide

O potencial da gravidade ou geopotencial pode ser expresso por (LAMBECK, 1988):

$$W(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{r} \left[ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{R_e}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \varphi) \right] + \frac{1}{3} \omega^2 r^2 [1 - P_{20}(\sin \varphi)] \quad (17)$$

O último termo da fórmula acima refere-se ao potencial centrífugo ou de rotação.

$r \rightarrow$  distância do ponto até o elipsóide

$\varphi \rightarrow$  latitude

$\lambda \rightarrow$  longitude

$R \rightarrow$  raio médio

$R_e \rightarrow$  raio equatorial ou semi-eixo maior (a)

$C_{nm} \rightarrow$  coeficiente do geopotencial ou de Stokes

$S_{nm} \rightarrow$  coeficiente do geopotencial ou de Stokes

$P_{nm} \rightarrow$  polinômios associados de Legendre

$n \rightarrow$  grau

$m \rightarrow$  ordem

e quando:

$m = 0$ , tem-se as funções zonais;

$m = n$ , tem-se as funções setoriais;

$m \neq n$ , tem-se as funções tesserais.

Os coeficientes  $C_{nm}$  e  $S_{nm}$ , são os chamados coeficientes do geopotencial ou de Stokes e são os elementos que constituem os modelos do geopotencial. Para a Terra, o coeficiente dominante é o  $C_{20} = -J_2$ . Assim, pode ser definido o potencial do elipsóide melhor ajustado à Terra como em uma 1ª aproximação,  $U$  em função de  $W$  tem-se  $r > R$ .

Então, tem-se:

$$U(r, \varphi) = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \frac{1}{3} \frac{w^2 r}{g_o(r)} + \left[ C_{20} \left[ \frac{R_e}{r} \right]^2 - \frac{1}{3} \frac{w^2 r}{g_o(r)} \right] P_{20}(\sin \varphi) \right\} \quad (18)$$

### 3.11 MODELOS FÍSICOS DE CONTROLE DISPONÍVEIS

#### 3.11.1 Modelo Digital de Terreno – ETOPO5

Os modelos topográficos digitais, tornaram-se essenciais nos últimos tempos para os estudos de Geodésia, Geofísica, Geologia, Hidrologia, ecologia, etc. (ver p. ex. AGNEW et al., 1988; FOSBERG & SIDERIS, 1989; TZIAVOS et al., 1992; MERRITS & ELLIS, 1994). Essas aplicações vão desde à milhares de quilômetros no caso de escala global até dezenas de metros no caso da escala local.

Apesar dessa multiplicidade de aplicações, as topografias de outros planetas, em termos globais, são melhor conhecidas atualmente do que a da Terra. Isto decorre basicamente de três fatores: a existência de oceanos em cerca de três quartos da superfície terrestre, dificultando a coleta de dados batimétricos; a divisão política dos continentes, restringindo o acesso aos dados altimétricos de regiões mapeadas; e as peculiaridades geográficas, retardando o mapeamento topográfico básico em muitas regiões. As consequências desses



fatores nos modelos topográficos digitais são: inexistência de dados altimétricos e batimétricos em algumas regiões, dados incompatíveis e a conseqüente dificuldade de integração na determinação modelos digitais.(SÁ & MOLINA, 1995).

Atualmente, o modelo topográfico digital de maior resolução, disponível para toda a superfície terrestre, é o ETOPO5 (LAUGHRIDGE, 1986; WOLF & WINGHAM, 1992), que vem sendo usado em vários estudos que têm escalas diversas. Esse modelo foi gerado a partir de dados altimétricos e batimétricos para a distribuição regular com intervalo 5 minutos em latitude e longitude. Segundo informações do *National Geophysical Data Center* (NGDC), a resolução efetiva desse modelo varia de 5 minutos nos oceanos, Estados Unidos, Europa, Japão e Austrália; a 1° em parte da Ásia, América do Sul, África e norte do Canadá. Por se tratar de um modelo global de resolução nominal adequada para aplicações em escala regional, o ETOPO5 e sua versão mais recente ETOPO5U vêm sendo testados nos oceanos (SMITH, 1993) e nos continentes (ARABELOS, 1994; GREEN & FAIRHEAD, 1993). A versão atual difere da original somente nas regiões em que novos modelos topográficos locais foram inseridos ao global, o que ainda não foi possível nos países Sul-americanos.

O produto final obtido com o ETOPO5 são as altitudes mínima, média e máxima para quadriláteros de 5'x 5'.

### 3.11.2 O modelo do Geopotencial – OSU91A e EGM96

Novos modelos do geopotencial, tais como, *Potencial Coefficient Model 91* (OSU91A) e EGM96 de grau e ordem 360, com boa acurácia a nível mundial, vieram beneficiar os usuários que aplicam o GPS no posicionamento geodésico, obtendo-se assim

valores da altitude ortométrica através dos valores das ondulações. Oficialmente o Brasil ainda não conta com um modelo geoidal referido a um sistema geocêntrico. Estudos estão sendo feitos, para que em breve, seja adotado um novo modelo geoidal baseado em modelos mais recentes do geopotencial, agregados a dados gravimétricos na integral de Stokes modificada. Os modelos OSU91A e EGM96 para o cálculo das ondulações foram adotados na Segunda Escola de Geóide.

Os modelos do geopotencial permitem determinar o geopotencial em função da posição. Do geopotencial é possível se obter valores da gravidade, das anomalias, da ondulação geoidal e das componentes da deflexão da vertical.

O Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas possui os modelos OSU91 (RAPP & PAVLIS, 1989) e o EGM96, *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA, 1997), com os respectivos programas de redução de dados.

As quantidades gravimétricas de expansões dos harmônicos esféricos têm crescido em importância com o desenvolvimento da computação nos últimos anos e com as expansões dos harmônicos esféricos de alto grau do potencial gravitacional da Terra.

Podem ser obtidas destes modelos as grandezas:

$\xi$  ( $\xi$ )  $\rightarrow$  componente meridiana da deflexão da vertical (arcsec);

$\eta$  ( $\eta$ )  $\rightarrow$  componente 1° vertical da deflexão da vertical (arcsec);

$N$   $\rightarrow$  alturas geoidais (metros);

$\delta_g$   $\rightarrow$  distúrbios (mGal);

$$\delta_g = g_p - \gamma_p \quad (19)$$

$\Delta_g \rightarrow$  anomalias da gravidade (mGal).

$$\Delta_g = g_{\text{Geóide}} - \gamma_{\text{elipsóide}} \quad (20)$$

Neste trabalho foi usado apenas o EGM96, o mesmo é explicado a seguir.

### 3.11.2.1. Modelo EGM96

O modelo EGM96 foi realizado através da colaboração de três instituições: OHIO *State University*, NIMA e *National Aeronautics and Space* gravimétricos e novos mapas topográficos estão sendo digitalizados para gerar um modelo digital de terreno com uma melhor resolução. No Brasil novos levantamentos gravimétricos associados ao GPS tem se concentrado na região Amazônica. Devido à carência de RRNN nesta região, as altitudes ortométricas para as estações gravimétricas estão sendo calculadas através da altitude geométrica fornecida pelo GPS, corrigida da ondulação geoidal obtida no modelo EGM96, pela seguinte relação (BLITZKOW, 1998):

$$H = h - N_{\text{EGM96}} \quad (21)$$

## CAPÍTULO 4

### 4 BASE DE DADOS GEODÉSICOS INTERLIGADA A BASE CARTOGRÁFICA

#### 4.1 METODOLOGIA UTILIZADA

Foi estabelecida uma arquitetura para a organização da Base de Dados Geodésicos, integrada a base multifinalitária, pois a Base Cartográfica depende totalmente da BDG.

As informações selecionadas e inseridas na BDG são as seguintes:

- Planimetria
  - Latitude e longitude no SGR;
  - Coordenadas UTM (N,E).
- Altimetria
  - Altitude ortométrica (h), obtidas a partir de redes de nivelamento;
  - Altitude elipsóidica (H), obtidas com o GPS;
  - Ondulação geoidal (N);  $N = H - h$ .
- Gravimetria, para obter N, precisa-se conhecer as grandezas gravimétricas:
  - Gravidade (g);
  - Componente meridiana ( $\xi$ );
  - $1^\circ$  vertical ( $\eta$ );
  - Anomalias ( $\Delta g$ );
  - Geopotencial (W), usado para interpolação e checagem das coordenadas.

O trabalho envolve conceitos de GIS no sentido da constituição de uma base de dados não gráfica referenciada à base de dados gráfica constituída pelas divisas municipais do Estado do Paraná. Os dados geodésicos referentes às redes fundamentais de referência horizontal, altimétrica e gravimétrica possuem, como atributo primário, as suas coordenadas geodésicas  $\varphi$  e  $\lambda$ , possibilitando sua vinculação à base referida. Tal visão é fundamental, uma vez que o primeiro elemento de locação é sua posição em relação à base cartográfica adotada. No entanto, cada um destes pontos, terá outros atributos visando primariamente os valores das grandezas geodésicas e sua classificação, em precisão, e em outros níveis, atributos adicionais relacionados com cada ponto e que permitam a aplicação multifinalitária dos mesmos.

Um segundo aspecto referente ao gerenciamento da base de dados não gráfica é o do acesso por níveis de usuários, o que pressupõe um elemento adicional de classificação. E, finalmente, o gerenciamento da base pressupõe uma avaliação contínua da qualidade da informação. No caso dos pontos planimétricos, o controle possível, pela própria natureza, é a análise dos levantamentos e resultados do ajustamento. Já para a altimetria e gravimetria, em adição aos dados dos levantamentos e ajustamentos, podem ser inseridos modelos de controle tais como os MDT e MGP.

Devido à complexidade da estrutura e à quantidade de informações a serem manipuladas na BDG, não é recomendado um enfoque global de desenvolvimento, sendo mais adequado fazer o sistema em partes, para depois, integrá-las numa arquitetura global. Para tanto, foram coletados relatórios das empresas responsáveis por trabalhos geodésicos, os quais de forma natural, mostram esta divisão, de acordo com tipo de dado, técnica, etc., empregados na determinação das observações geodésicas.

A estratégia de desenvolvimento, classificação e qualificação dos dados que fazem parte da base, foi avaliar os diferentes elementos, de forma a modelar o que realmente é importante em termos de aplicações futuras.

Para classificar os pontos, foram assumidas inicialmente as Normas e Especificações do IBGE (1993).

Para a concepção e projeto da base de dados geodésicos do Estado do Paraná, em ambiente GIS, inicialmente foram coletadas todas as informações disponíveis nos pontos geodésicos já implantados, monumentados, cujas acurácias são conhecidas.

Observa-se como elemento básico de locação no ambiente GIS, as coordenadas horizontais. Tais coordenadas, de qualquer natureza, mais ou menos precisa, são elementos característicos dos pontos geodésicos. Dessa forma, concebe-se uma única estrutura organizacional para todos os pontos, na qual é possível enfatizar e qualificá-las de acordo com sua natureza.

Os componentes fundamentais da base são as tabelas com os seus campos e suas descrições ou registros. Esta BD é composta de 13 interfaces relacionadas. Cada campo da tabela contém uma categoria específica de informação sobre cada registro. Neste caso as tabelas foram bem projetadas e os campos estão relacionados uns aos outros, para o propósito da base que é o cadastro do ponto. Cada registro ou descrição é um item único. Independente de qualquer outro registro na tabela. A ordem em que os registros são armazenados fisicamente em uma base de dados não gráfica não é importante, pois pode-se visualizar e recuperar dados, simplesmente ordenando a BD.

As chaves primárias que estão especificadas na descrição, identificam exclusivamente cada registro e determinam a ordem de classificação de cada tabela. A seguir, apresenta-se as informações contidas na BDG e suas interfaces relacionais.

## 4.2. INFORMAÇÕES CONTIDAS NA BASE DE DADOS GEODÉSICOS

FIGURA 4 – Esquema das interfaces da Base de dados geodésicos

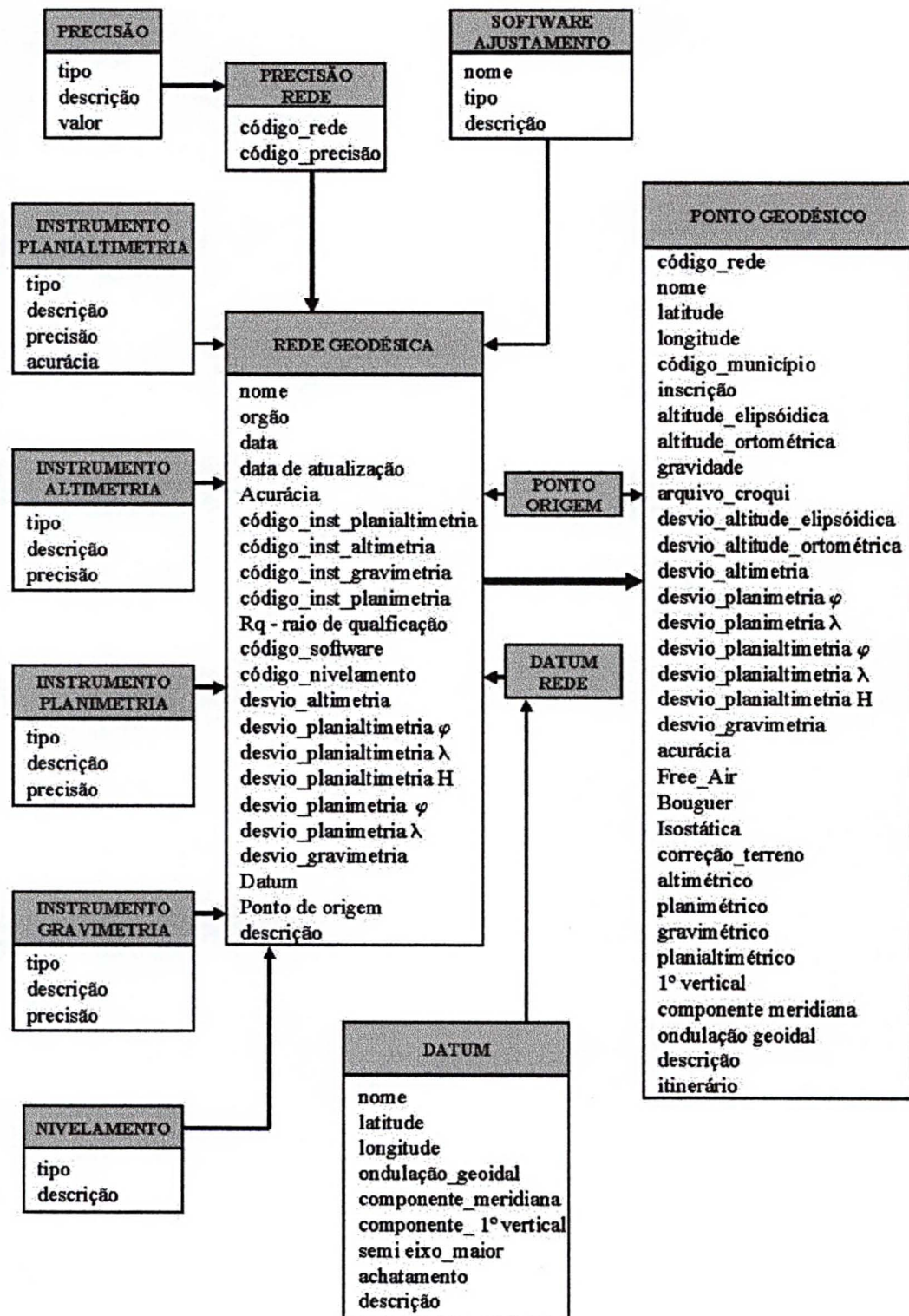


Tabela 1 - Precisão

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Precisão altimétrica, gravimétrica, planimétrica ou planialtimétrica
Descrição	Padrão de precisão
Valor	Valor numérico do padrão de precisão

Tabela 2 - Instrumento de Planialtimetria

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica identificadora do instrumento para planialtimetria
Descrição	Descrição sobre o instrumento de planialtimetria
Precisão	Valor numérico do instrumento de planialtimetria

Tabela 3 - Instrumento de Altimetria

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica identificadora do instrumento para altimetria
Descrição	Descrição sobre o instrumento de altimetria
Precisão	Valor numérico do instrumento de altimetria
Acurácia	Valor numérico da acurácia do instrumento de altimetria

Tabela 4 - Instrumento de Planimetria

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica identificadora do instrumento para planimetria
Descrição	Descrição sobre o instrumento de planimetria
Precisão	Valor numérico do instrumento de planimetria



Tabela 5 - Instrumento de Gravimetria

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica identificadora do instrumento para gravimetria
Descrição	Descrição sobre o instrumento de gravimetria
Precisão	Valor numérico do instrumento de gravimetria

Tabela 6 - Software de Ajustamento

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica pode ser comercial ou científico
Descrição	Descrição sobre o software de ajustamento
Nome	Nome do software

Tabela 7 - Tipos de Nivelamento

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Tipo	Característica do nivelamento
Descrição	Descrição sobre o tipo de nivelamento

Tabela 8 - Datum

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Nome	Nome do Datum
Latitude	Latitude geodésica do Datum
Longitude	Longitude geodésica do Datum
Ondulação geoidal	Valor numérico da ondulação geoidal no Datum
Comp. Meridiana	Valor numérico da componente meridiana no Datum
Comp. 1º vertical	Valor numérico da componente 1º vertical no Datum
Semi eixo maior	Valor numérico do semi eixo maior
Achatamento	Valor numérico do achatamento
Descrição	Descrição sobre o Datum

Tabela 9 - Rede Geodésica

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Nome	Nome da rede geodésica
Órgão	Nome do órgão de desenvolveu a rede
Data	Data do desenvolvimento da rede
Data atualização	Data do cadastro ou de uma atualização nos campos
Cód. Instr. planialt.	Código do instrumento de planialtimetria usado na rede
Cód. instr. altimetria	Código do instrumento de altimetria usado na rede
Cód.instr.planimetria	Código do instrumento de planimetria usado na rede
Cód.instr.gravimetria	Código do instrumento de gravimetria usado na rede
Rq (dist.do raio km)	Valor numérico para distância definida para o raio de Qualificação
Código software	Código do software usado para ajustar a rede
Cód.do nivelamento	Código do tipo de nivelamento
Desvio padrão altimetria.	Valor numérico do desvio padrão da rede altimétrica
Desvio padrão $\phi$	Valor numérico do desvio padrão da latitude da rede planialtimétrica
Desvio padrão $\lambda$	Valor numérico do desvio padrão da longitude rede planialtimétrica
Desvio padrão H	Valor numérico do desvio padrão da altitude da rede planialtimétrica
Desvio padrão $\phi$	Valor numérico do desvio padrão da latitude da rede planimétrica
Desvio padrão $\lambda$	Valor numérico do desvio padrão da longitude da rede planimétrica
Desvio padrão g	Valor numérico do desvio padrão da rede gravimétrica
Acurácia	Valor numérico da acurácia da rede geodésica
Datum	Tipo de Datum utilizado na rede geodésica
Ponto de origem	Quando o mesmo não for o Datum
Descrição	Descrição da rede



Tabela 10 - Ponto Geodésico

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código	Chave primária da tabela
Código da rede	Código da rede a qual o ponto pertence
Nome	Nome do ponto
Cód. do Município	Código do município onde o ponto esta situado
Inscrição	Inscrição do ponto
Latitude	Valor numérico da latitude
Longitude	Valor numérico da longitude
Altitude elipsóidica	Valor numérico da altitude elipsóidica no ponto
Altitude ortométrica	Valor numérico da altitude ortométrica no ponto
Gravidade	Valor numérico da gravidade no ponto
Arquivo croqui	Nome do arquivo croqui do ponto
Desvio padrão H	Valor numérico do desvio padrão da altitude elipsóidica
Desvio padrão h	Valor numérico do desvio padrão da altitude ortométrica
Desvio padrão $\phi$	Valor numérico do desvio padrão da latitude do ponto planimétrico
Desvio padrão $\lambda$	Valor numérico do desvio padrão da longitude, ponto planimétrico
Desvio padrão g	Valor numérico do desvio padrão do ponto gravimétrico
Desvio padrão $\phi$	Valor numérico desvio padrão da latitude do ponto planialtimétrico
Desvio padrão $\lambda$	Valor numérico desvio padrão da longitude, ponto planialtimétrico
Desvio padrão H	Valor numérico do desvio padrão da altitude, ponto planialtimétrico
Acurácia	Valor numérico da acurácia do ponto
Anomalia Free-air	Valor numérico da anomalia free-air
Anom. de Bouguer	Valor numérico da anomalia de Bouguer
Anomalia Isostática	Valor numérico da anomalia isostática
Correção topográfica	Valor numérico da correção topográfica
Altimétrico	Indica o ponto altimétrico
Planimétrico	Indica o ponto planimétrico
Gravimétrico	Indica o ponto gravimétrico
Planialtimétrico	Indica o ponto planialtimétrico
l vertical	Valor numérico da componente l vertical
Comp. Meridiana	Valor numérico da componente meridiana
Ond. Geoidal	Valor numérico da ondulação geoidal
Descrição	Descrição da rede
Itinerário	Itinerário do ponto geodésico

Tabela 11 - Precisão da rede

Relaciona muitos registros de precisão com muitos registros de rede geodésica

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código rede	Código da rede geodésica
Código precisão	Código da precisão

Tabela 12 - Datum da rede

Relaciona muitos registros de datum com muitos registros de rede geodésica

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código rede	Código da rede geodésica
Código datum	Código do datum

Tabela 13 - Ponto origem

Utilizado no caso do ponto de origem de uma rede ser um ponto de outra rede

Relaciona muitos registros de ponto geodésico com muitos registros de rede geodésica

CAMPO	DESCRIÇÃO
Código rede	Código da rede geodésica
Feat num	Código do ponto geodésico

#### 4.3 SIMBOLOGIA CRIADA PARA REPRESENTAR OS DIFERENTES PONTOS

O *software* usado para desenvolver a base, foi o Vision 4.2, usando ORACLE 7.0, que trabalha de maneira relacional com as tabelas apresentadas anteriormente. Depois de definir a estrutura da base, foi necessário criar uma simbologia para representar na base cartográfica todos os pontos que foram e serão inseridos. Os símbolos criados são os seguintes:

- Planimetria e altimetria (levantamentos realizados com instrumentos independentes) – estrela com um ponto no centro, seu contorno é roxo;
- Altimetria – triângulo com um ponto no centro, seu contorno é vermelho;
- Gravimetria – losango com um ponto no centro, seu contorno é verde;
- Planialtimetria – quadrado com um ponto no centro e um triângulo circunscrito, cor laranja;
- Planialtimetria com gravimetria – quadrado com hachuras, cor amarelo.

Todos os símbolos podem ser alterados conforme a necessidade, pois existe no Vision, ferramentas distintas para a criação de símbolos e para a geração da simbologia. Os símbolos necessários à representação em questão, foram criados. A simbologia foi gerada para utilizar os símbolos de modo correto, considerando critérios como a escala e o tipo de ponto a ser representado graficamente. Desta forma, pode-se programar qual símbolo e cor utilizar para um determinado tipo de ponto, e qual o tamanho a ser utilizado de acordo com a escala corrente.

Esta definição dos símbolos possibilita uma rápida identificação do ponto na tela e facilita a visualização de cada tipo de rede cadastrada.

Como todos os pontos cadastrados mantém uma nomenclatura, torna-se importante que a mesma seja seguida. A própria BD cria um código numérico interno para cada cadastro. No caso dos campos código e inscrição da rede geodésica, foi mantida a nomenclatura adotada pelo órgão que desenvolveu o levantamento geodésico, quando um dos campos não existe, repete-se o mesmo código ou a mesma inscrição, podendo ser numérico ou texto.

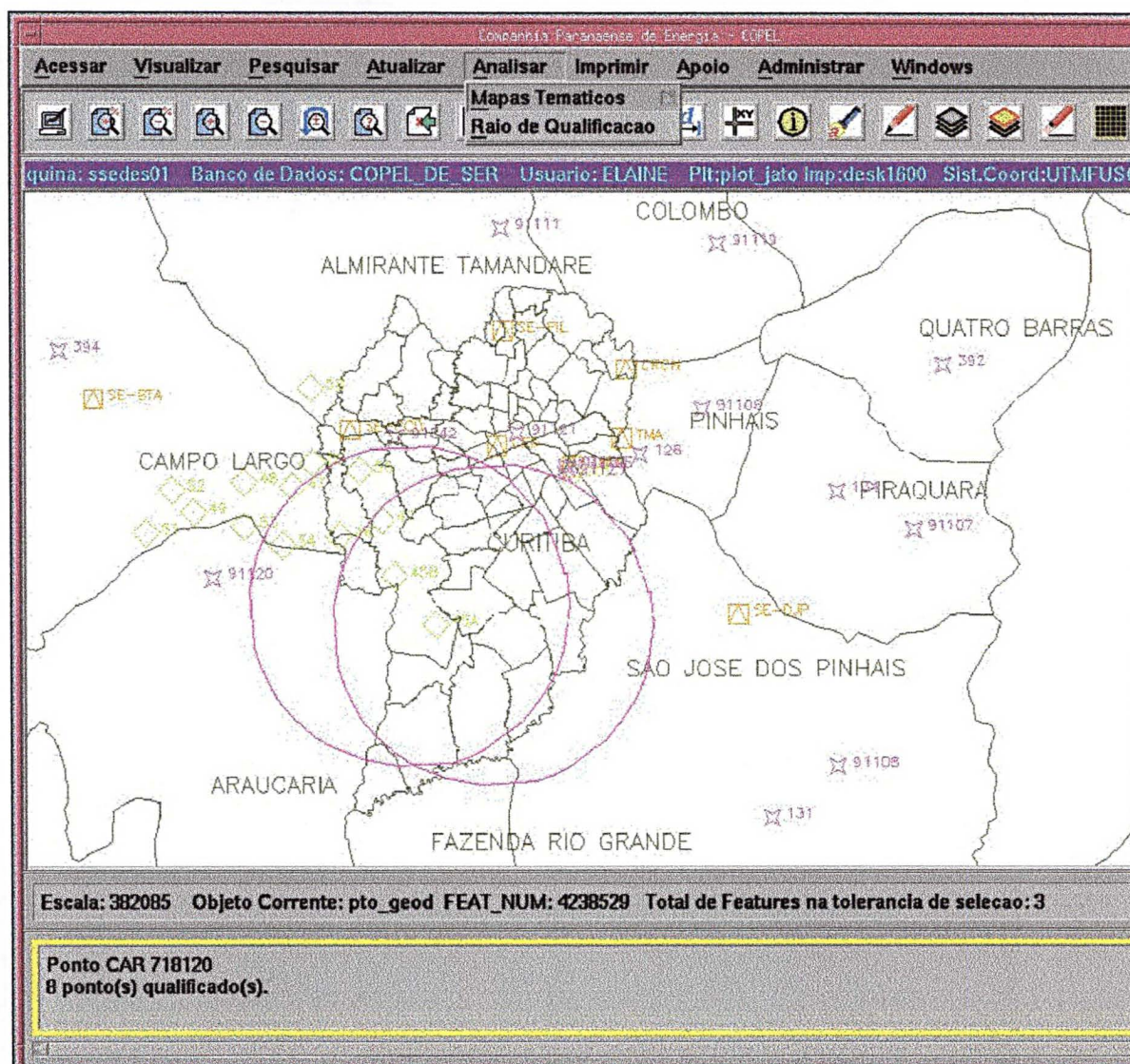
#### 4.4. RAO DE QUALIFICAÇÃO

Outra implementação foi o Raio de qualificação (Rq). Ele foi criado para verificar a redundância de pontos cadastrados na base. Para utilizá-lo é simples, quando é feito o cadastro da rede, faz-se necessário definir o valor em km para este raio. Em áreas com pouca densidade de pontos, pode-se definir um raio mais amplo e em áreas com maior densidade, quanto menor o raio, mais rápida será sua procura e em consequência sua definição.



Para visualizar na tela o ponto que foi selecionado, o mesmo ficará piscando e de acordo com o raio especificado no cadastro da rede, aparecerá uma circunferência incluindo todos os demais pontos. Com isso, torna-se possível analisar ponto a ponto e selecionar o que realmente satisfaz as precisões definidas pelo IBGE e a dos equipamentos utilizados. Portanto, pontos em duplicidade serão qualificados e sem comprometer a rede serão posteriormente excluídos.(FIGURA 5)

FIGURA 5 – Tela que apresenta o raio de qualificação



#### 4.5 CADASTRO DOS PONTOS NAS INTERFACES

Para checar o funcionamento da base geodésica, foi necessário primeiramente inserir informações nas interfaces criadas. Como o sistema é relacional, tornou-se importante completar os campos das seguintes interface:

- Software de ajustamento (ANEXO 1);
- Nivelamento (ANEXO 2);
- Precisão dos levantamentos segundo as normas estabelecidas pelo IBGE (ANEXO 3);
- Instrumentos de altimetria (ANEXO 4);
- Instrumento de planimetria (ANEXO 5);
- Instrumento de gravimetria (ANEXO 6);
- Instrumento de planialtimetria (ANEXO 7);
- Datum (ANEXO 8).

Quando completou-se os campos das interfaces acima, iniciou-se o cadastro da interface rede (ANEXO 9). Atualmente tem-se 05 (cinco) redes cadastradas, são elas:

- Rede geodésica de precisão da COPEL com 42 pontos levantados, todos foram cadastrados na base;
- Rede geodésica de alta precisão da DSG contendo 95 pontos levantados, foram cadastrados 81, sendo que dos 14 pontos restantes, 12 referem-se a outros estados que fazem limite com o Paraná (Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul) e 2 pontos que aparecem no litoral do estado, serão posteriormente cadastrados na futura base

cartográfica que está sendo desenvolvida pela SEMA e contem os limites de município melhor definidos;

- Rede geodésica de alta precisão da SEMA composta de 20 pontos levantados, todos foram cadastrados;
- Rede do IBGE: fez-se necessário limitar a quantidade de pontos pois a mesma é extensa e para testar o funcionamento da base, definiu-se uma área entre o paralelo 25° e 26°, meridiano 49° e 50°, sendo assim, foram cadastrados apenas 45 pontos que pertencem a região indicada. Os outros pontos serão futuramente inseridos na base e qualificados como os anteriores;
- Dados gravimétricos de diferentes redes (UFPR, IBGE, ON, PETROBRAS, USP), arquivado pela USP. Com 4112 pontos gravimétricos dos quais apenas 1994 foram cadastrados, os outros 2118 estão nos estados que fazem divisa com o Paraná (Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul). Além da simbologia, para identificar o ponto gravimétrico foi inserida a letra G na frente da numeração que pode ser código ou inscrição. Para os pontos sem código, foi criada uma sequência de números no momento do cadastro.

Todos os croquis referentes as redes da COPEL, SEMA e DSG foram digitalizados, enriquecendo a BD com mais uma fonte de consulta sobre o ponto.

Foram compartilhados com a base o modelo ETOPO5 e o modelo EGM96, o primeiro será usado para analisar as discrepâncias dos pontos altimétricos das redes citadas e o segundo as discrepâncias das grandezas gravimétricas. O modelo EGM96 usa uma série de programas, os mesmos foram instalados e compartilhados com a base.



#### 4.6 GQL LINGUAGEM BASEADA EM SQL

A *Structured Query Language* (SQL) é a interface comum dos sistemas de BD relacional. Desse ponto de vista, é natural que a linguagem de consulta de um sistema de BD espacial seja uma extensão da SQL.

Várias linguagens espaciais foram construídas a partir da SQL. Essas linguagens estendem a SQL acrescentando novos construtores, operadores e funções espaciais, no caso deste trabalho tratar-se-á apenas da linguagem *Geographic Query Language* (GQL).

GQL é uma linguagem espacial, projetada especificamente para a utilização em GIS (SACKS-DAVIS et al., 1987).

Ela é definida para expressar consultas envolvendo operadores espaciais e não espaciais. No entanto, ela faz diferenciação no uso de dados espaciais tridimensionais. Os tipos de dados utilizados nessa linguagem são: ponto, linha e região. Enquanto que um dado não espacial é armazenado em relações, os dados espaciais são armazenados em arquivos externos. Os operadores espaciais são genéricos, podendo ser aplicados indiferentemente aos três tipos de dados. Esses operadores são: *intersects*, *adjacent*, *joins*, *ends\_at*, *contains*, *situated\_at*, *within*, *closest*, *furthest*.

Fazer pesquisas na BD é simples pois o poder do sistema relacional permite que se recupere os dados de várias tabelas com uma só pesquisa, ao invés de nos limitar a trabalhar com uma única tabela. O método de se pesquisar é baseado nos métodos de pesquisa que o sistema de gerenciamento suporta. No caso do Vision ele usa o GQL, pode-se dizer que é semelhante a SQL, Linguagem Estruturada de Pesquisa, adicionando as pesquisas espaciais. O SQL e o GQL são usados para efetuar ações na BD e suas estruturas, são mais que apenas uma linguagem de pesquisa, utilizam uma linguagem de programação bastante eficiente. O

GQL faz qualquer tipo de pesquisa dentro de uma determinada área ao redor de um ponto específico.

#### 4.7 NÍVEIS DE USUÁRIOS

Mesmo sendo o Vision um *software* de fácil manipulação, torna-se importante demonstrar a sequência para se trabalhar com o mesmo. Neste estágio do projeto, todas as informações necessárias para testar o funcionamento da BD já estão cadastradas e a próxima etapa é navegar nas interfaces para obter as informações necessárias.

O sistema foi definido para que apenas três tipos de usuários possam acessá-lo, são eles:

- O administrador - este usuário tem poderes sobre a base, conforme o item 2.3 que trata da Abstração de dados, o administrador tem acesso ao nível físico ou plano interno. Como o mesmo tem contato direto com a estruturação dos dados, em qualquer momento ele poderá alterar as informações cadastradas, atualizando-as, incluindo-as ou excluindo-as;
- O operador do cadastro - este usuário não tem acesso a implementação dos dados, apenas depois que todo sistema interno da base esta implementado, ele então poderá inserir dados, atualizar, excluir ou apenas pesquisar, seguindo o item 2.3, este usuário atua no nível conceitual;
- O pesquisador – este usuário apenas fará pesquisa, ele estará atuando no nível de visões ou plano externo o qual mostra apenas parte da BD. Portanto, não terá acesso ao sistema como um todo. O cuidado que um usuário pesquisador deverá ter, é em saber previamente

o que lhe interessa do sistema, pois apesar do uso ser simples, poderá existir complexidade devido ao tamanho da BD.

A maior preocupação em definir níveis de usuários é garantir a segurança e qualidades das informações cadastradas e posteriormente divulgadas.

O usuário que cadastra os dados possa também qualificá-los. O profissional que irá manipular esta base, antes de mais nada deverá ser um conhecedor de Cartografia, Geodésia e Gravimetria. Para tanto, terá que conhecer as Normas e Especificações do IBGE, conhecer tipos de instrumentos e suas precisões e deverá ter sido treinado para entender de que maneira as informações planimétricas ou as coordenadas horizontais deverão ser qualificadas. Como o sistema foi desenvolvido de maneira tal que atenda as necessidades do usuário. Então, pode-se trabalhar na base das seguintes maneiras:

- manipulando ponto a ponto de uma rede distinta;
- analisando apenas os pontos de uma rede específica;
- manipulando todas as redes cadastradas na base.

Enfim, todas as possibilidades acima foram desenvolvidas para chegar no objetivo proposto por esse trabalho.

Outra etapa importante, é como as informações são liberadas para o usuário pesquisador. Assim que a BD estiver alimentada com o maior número de redes desenvolvidas no Estado, os dados cadastrados poderão ser disponibilizados via disquete, em formato texto. Caso o usuário precise ver a imagem na tela, poderá ser exportado do Vision para qualquer

tipo de CAD. E para o futuro próximo, está sendo implementado para que as informações sejam disponibilizadas via internet.

Pretende-se ainda, preparar um CD-ROM com as orientações necessárias de como manusear as informações na BD com formato texto e imagem.

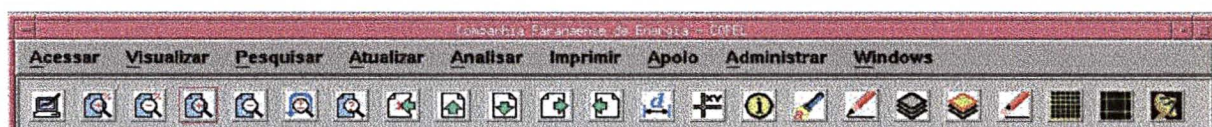
#### 4.8 INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO DO PROGRAMA

Existem diversas possibilidades de navegar sobre a BD. A etapa inicial, é o acesso ao sistema. Na etapa seguinte são apresentadas todas as formas de pesquisa e finalmente a forma de resgatar a informação.

Para entrar no sistema:

- Acessa-se o Vision;
- Acessa-se o GEO;
- Aparecerá uma interface na qual deverá ser informado o nome do usuário e sua senha;
- A próxima tela já aparece a base cartográfica com o perímetro do estado do Paraná, formada pelos polígonos dos municípios e na sua parte superior estão todos os ícones que servem como ferramentas de trabalho (FIGURA 6).

FIGURA 6 – Interface de ícones



Olhando da esquerda para direita, pretende-se mostrar numa sequência numérica, qual a função de cada ícone. Tem-se no total 23 ícones, onde cada um desempenha uma função possibilitando maior facilidade de obtenção da informação. São elas:

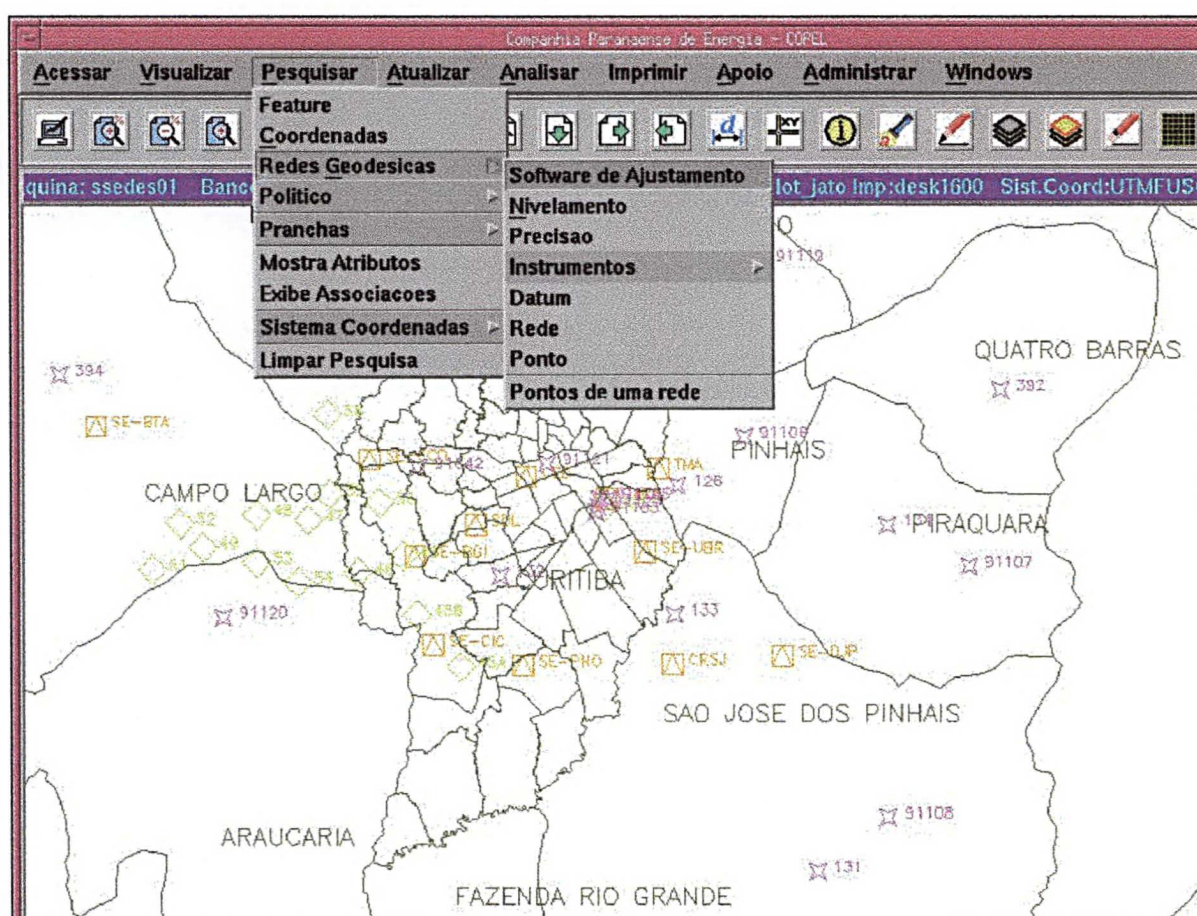
1. Redesenhar
2. Zoom ampliação %
3. Zoom redução %
4. Ampliação livre
5. Zoom redução máxima
6. Retorna zoom anterior
7. Zoom informando escala
8. Desloca o visor para o ponto clicado
9. Deslocar para cima
10. Deslocar para baixo
11. Deslocar para direita
12. Deslocar para esquerda
13. Distância entre dois pontos
14. Mostra coordenadas
15. Informações do elemento
16. Mostra atributos
17. Desenho da base
18. Ocultar
19. Reexibir (oposto ocultar)
20. Apagar (oposto desenhar)

21. Pranchas 1:1000
22. Pranchas 1:5000
23. Radar.

Para cadastrar a rede, alguns campos contidos na interface rede, são resgatados das demais interfaces anteriormente citadas. Os campos projeto, órgão, código, data de criação, data de atualização e Rq (raio de qualificação) devem ser corretamente preenchidos para que haja sucesso no cadastro da rede. Os demais campos podem ser buscados nas tabelas já alimentadas.

Como cadastrar uma rede (FIGURA 8):

FIGURA 8 – Tela, como cadastrar uma rede



- Atualizar – referencial – rede geodésica – rede (inserir, atualizar, excluir);
  - Inserir, aparecerá na tela a interface rede, os campos deverão ser preenchidos, OK;
  - Atualizar, aparecerá uma lista com as redes cadastradas, escolhe-se a rede de interesse, aparecerá na tela a interface rede, atualiza-se o campo pretendido e para terminar, atualiza;
  - Excluir, aparecerá uma lista com as redes cadastradas, seleciona-se a rede a excluir, uma nova tela aparecerá para alertá-lo quanto a exclusão, deve-se confirmar, OK.

Após cadastrar a rede, pode-se então cadastrar ponto a ponto da mesma, não esquecendo dos campos: rede, código, inscrição, tipo de ponto, latitude, longitude, sem estes campos preenchidos o cadastro não será confirmado. A BD foi projetada para detectar duplicidade de pontos. Caso seja cadastrado um ponto com coordenadas geodésicas  $\varphi$  e  $\lambda$  já existentes, o operador do cadastro será alertado na tela. Esta implementação controla a duplicidade de pontos na rede e permite que o mesmo seja verificado e qualificado.

Como cadastra-se um ponto:

- Atualiza – referencial – rede geodésica – ponto - inserir;
- Na tela aparecerá a interface ponto, preenche-se os campos, confirma-se o cadastro.

Como atualiza-se o cadastro de um ponto:

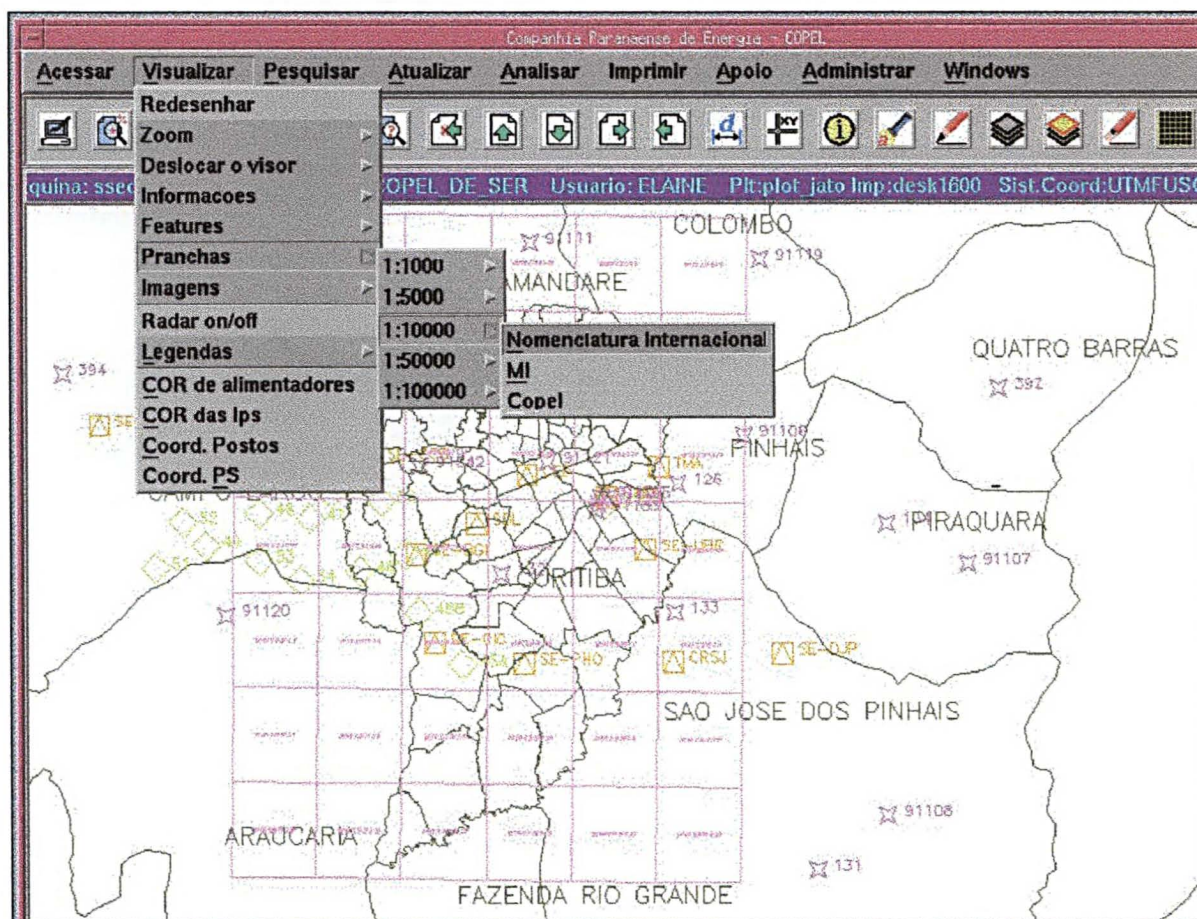
- Pesquisa – rede geodésica – ponto;
- Seleciona-se o ponto de interesse, (a tela terá uma mudança na escala (zoom +), o ponto que é representado por um símbolo ficará piscando junto com seu código locado na lateral superior direita de quem está olhando para tela;



- Atualiza – atributos, aparecerá a interface ponto com todos os campos preenchidos;
- Atualiza-se o campo pretendido;
- Confirma-se.

Outra opção disponível é a de mostrar na tela a articulação das cartas topográficas em várias escalas. A mesma aparecerá sobre a base cartográfica e sobre todos os pontos cadastrados (FIGURA 7).

FIGURA 7 – Tela com articulação



Como visualiza-se a articulação na tela:

- Visualiza – pranchas – define-se uma escala (1:1000;1:5000; 1:10000; 1:50000; 1:50000; 1:100000) o gride será desenhado na tela.

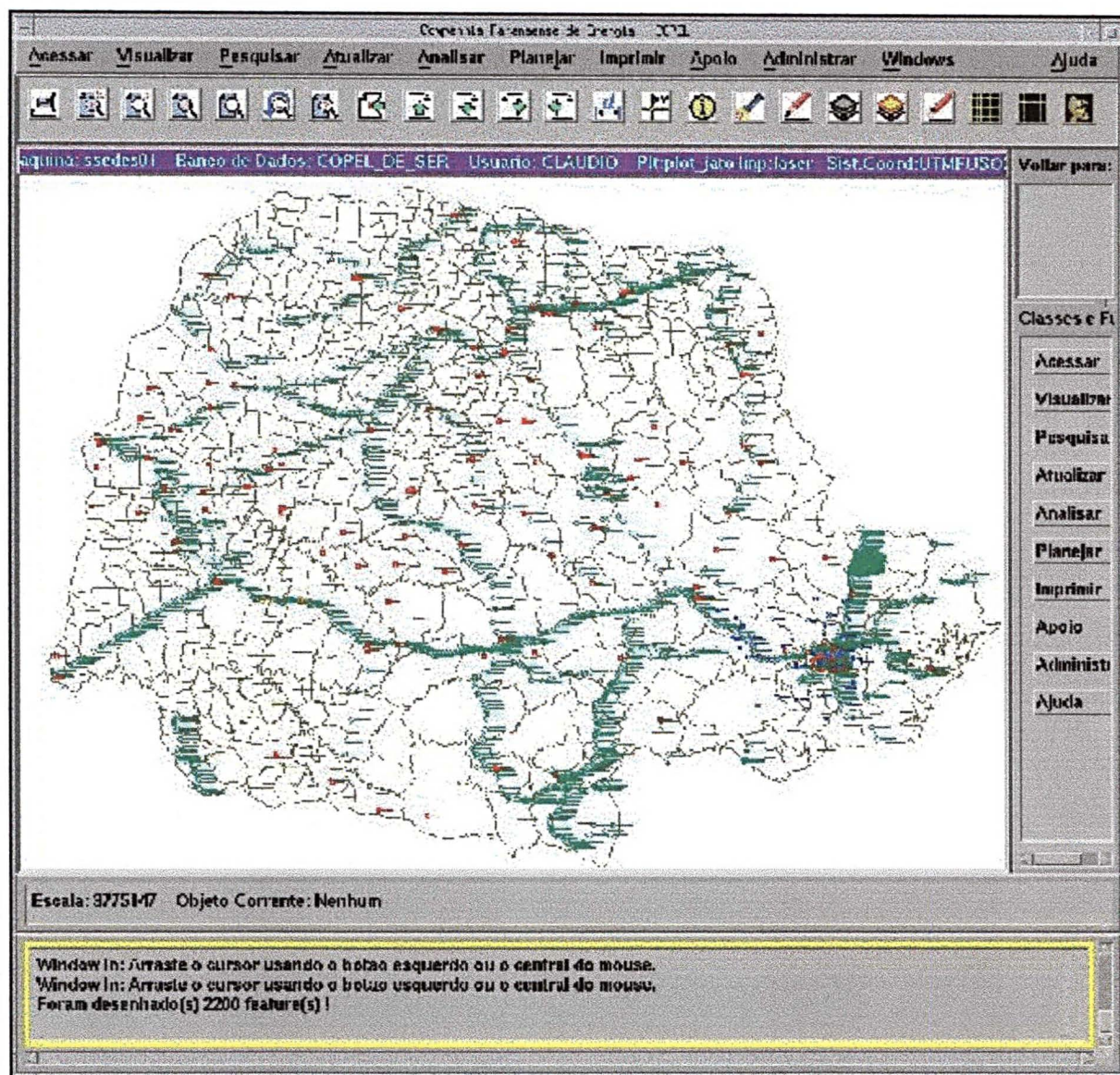


Este tipo de pesquisa, possibilita visualizar na tela sobre a base cartográfica, a articulação das cartas topográficas e os pontos cadastrados. Todas as informações das cartas topográficas podem ser acessadas dentro da BD.

Como trabalhar com as informações cadastradas:

- Para apresentar todos os pontos cadastrados, acessar o ícone desenho da base, aparece a tela apresentação de níveis, procuro referencial - redes geodésicas, abrangência - banco inteiro, OK.;
- Aparecerá uma tela de informação para que seja confirmada a solicitação.

FIGURA 9 – Tela com todos os pontos cadastrados na base



OBS.: Nesta fase todos os pontos cadastrados estarão na tela sobre a base cartográfica (FIGURA 9).

Como selecionar um ponto de interesse:

- Pesquisar – referencial - rede geodésica - ponto (neste instante aparecerá uma tela com todos os pontos cadastrados);

- Selecciona-se o ponto de interesse e confirma;
- Toda a base cartográfica sofrerá uma aproximação (zoom +), o ponto selecionado ficará piscando na tela e sua cor será diferente dos demais, tornando-se de fácil visualização;

Para seleccionar uma rede de interesse, o processo é semelhante ao anterior, sendo que ao invés de seleccionar apenas o ponto, escolhe-se a opção pontos da rede.

## 4.9 PRODUTOS DO SISTEMA

### 4.9.1 Vídeo

As consultas podem ser apresentadas no vídeo. O sistema ordena linhas e colunas, sempre na seqüência que os campos aparecem na interface. Este tipo de consulta fica direcionada para o usuário que administra a BD.

### 4.9.2 Disquetes

No caso de usuário pesquisador, ele poderá solicitar a informação e receberá um disquete seja no formato de relatório, seja no formato ASCII para intercâmbio com aplicativos no micro.

O processo de geração desses arquivos é semelhante ao de uma consulta normal, ou seja, após a pesquisa, os dados são apresentados na tela. Uma tela apresentará as estruturas

para a geração do arquivo com formato ASCII, inclusive a opção para CAD, sendo necessário que o usuário indique quais os campos que deseja gravar.

## CAPÍTULO 5

### 5. IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS E MODELOS, RESULTADOS OPERACIONAIS

#### 5.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS DADOS E MODELOS

Após todas as interfaces estruturadas de maneira a receber os dados, a digitação foi lenta devido aos diferentes formatos dos relatórios. Como cada empresa ou instituição cria seu estilo, tornou-se demorada a procura das informações necessárias para inserir na BDG e como pretende-se trabalhar com coordenadas precisas, qualquer erro de digitação estará comprometendo o sucesso da BDG. No caso específico das coordenadas gravimétricas, o arquivo foi formado semelhante a uma tabela, contendo linhas e colunas, o seu formato facilitou a inserção dos dados na BDG. Foi preciso apenas, excluir as colunas desnecessárias e preparar o arquivo para leitura no sistema, este processo foi desenvolvido pelo administrador da BD.

Como a estrutura da base foi bem planejada, apenas alguns detalhes foram alterados durante a digitação dos campos, como exemplo, alteração no tamanho de alguns campos, inserção de unidades que não tinham sido previstas inicialmente.

A etapa mais complicada foi a implementação dos modelos ETOPO5 e EGM96. Como o formato dos programas não é compatível com o sistema Vision, vários processos e *softwares* foram utilizados para deixar os modelos no mesmo formato do sistema. Depois da experiência para transformação dos formatos, atualmente todo o processo anterior está sendo substituído por um programa que não exige tantas mudanças de *software* e que é compatível

com o formato da BD.

## 5.2 QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

Como um dos maiores objetivos da BDG é a qualificação dos dados, para torná-la possível é necessário que a maioria das redes levantadas dentro do Estado, estejam cadastradas na base. Pretende-se apresentar aqui apenas testes desenvolvidos, mostrando que a qualificação e classificação das informações é um trabalho demorado mais operacional.

O primeiro teste, foi verificar com ajuda do raio de qualificação, que é definido no cadastro da rede, o qual permite apenas visualizar em tela todos os pontos que foram cadastrados dentro do raio especificado. Assim, o operador do cadastro deverá pesquisar ponto a ponto, coletando as informações referente ao tipo de ponto, precisão, equipamento, e todos os itens que achar relevante sobre o ponto e finalmente qualificá-lo. O sistema permite determinar a distância em quilômetros entre pontos que possam ser qualificados como redundantes. A partir dos testes feitos, concluiu-se que ainda não existe cadastrado no sistema pontos em duplicidade que devam ser excluídos. O que existe são pontos de redes distintas, precisões diferentes e que devem ser mantidos até que sejam verificadas as razões de suas existências e que novas redes sejam cadastradas.

No caso das coordenadas altimétricas, o ETOPO5 foi implementado na BDG. Com a finalidade de visualizar os pontos numa superfície, a qual apresenta os valores das altitudes mínima, média e máxima. Esta parte do trabalho não foi complementada pela impossibilidade de aquisição do *software* já testado em fase preliminar (SURFER). O mesmo deve ser adquirido futuramente e implementado na BD.

O mesmo aconteceu com as grandezas gravimétricas, com o modelo EGM96 foram obtidas as ondulações geoidais, mas, a visualização da superfície para detectar as discrepâncias, será feita após a aquisição do mesmo *software*.

### 5.3 RESULTADOS OPERACIONAIS

A BD está operacional. Já permite a obtenção de informações sobre todos os pontos cadastrados. Não existe dificuldade de acesso, pesquisa, bem como da atualização e visualização dos dados.

As maiores preocupações a partir de agora são a da complementação do cadastro de pontos e da sua manutenção.

## CAPÍTULO 6

### 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho, contribui com a Geodésia e gravimetria, oferecendo uma nova ferramenta para facilitar o dia a dia da comunidade usuária, a qual necessita de informações atualizadas e de um caminho certo para obtê-las.

Defende-se a importância de uma BD, onde informações de diversos levantamentos geodésicos fiquem centralizadas. O uso de BD relacional comum para gerência de atributos, provê flexibilidade de acesso para estes dados, e a possibilidade de integração de atributos de dados com outras aplicações.

Os dados tornaram-se um investimento de valor crescente com o tempo. Desta forma, seu uso compartilhado, para aplicações multifinalitárias é um fator que pode dividir os custos iniciais. É notável que a existência da BD já permite o desenvolvimento de atividades e aplicações que nem haviam sido cogitadas quando ela foi projetada.

Muitas organizações já têm um grande compromisso com o uso de SGBD relacional. Em geral, ganham-se significativos benefícios por armazenar todos os dados de uma organização com um único SGBD. Pretende-se com a BD redução de custos para o Estado do Paraná, considerando as condições desta nova ferramenta, principalmente porque os produtos gerados ficarão disponíveis à comunidade usuária.



Usar um SGBD único, pretende-se também minimizar os investimentos na administração da BD, a gerência de procedimentos, o projeto de BD, treinamento e possivelmente o custo do *software*.

A manutenção da BD, depende do gerenciamento, do operador do cadastro, e das empresas criarem o hábito de usar a BD, mantendo atualizados os campos das interfaces e controlando a qualidade dos mesmos.

Foi trabalhoso o processo de integração entre informações geodésicas e gravimétricas no ambiente digital, via as tecnologias de informática disponíveis. Porém, com a arquitetura desenvolvida, a implementação tornou-se menos complexa depois do estágio inicial.

A parte extenuante da implantação foi a de compatibilização das informações. Devido ao fato que os levantamentos mais antigos só existem em relatórios impressos, foi necessária a digitação de milhares de informações. É notável que esta limitação existe também para muitos levantamentos recentes, configurando uma inadequação na formatação dos produtos por muitas empresas.

Os modelos MDT e MGP e as versões futuras que os implementem, são ferramentas eficazes na qualificação das coordenadas geodésicas e das grandezas gravimétricas.

Quanto a implementação dos modelos MDT e MGP com a BD, foi demorada e extensa devido a diferença de formatos e a quantidade de alterações que o arquivo inicial sofreu e a necessidade de criação de uma série de rotinas para sua introdução na BD. Estas rotinas devem ser simplificadas no futuro.

Futuramente, com a BD totalmente implementada, inclusive atualizada com os novos levantamentos que venham a ser realizados no Estado, tornar-se-á possível ampliar os estudos para definir a carta geoidal para o Estado.

A BD está operacional e com todas as metodologias de análise implantadas.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

Considerando-se a extensão do trabalho envolvido nesta dissertação e na estruturação da BD, torna-se fundamental algumas recomendações, que com certeza num futuro bem próximo servirão para que ela desempenhe o seu papel com objetividade e praticidade. Então, recomenda-se:

- A BD foi desenvolvida pela COPEL em cooperação com a UFPR. Ficou definido previamente que a COPEL, pela sua capacidade gerencial, e por toda plataforma desenvolvida para a base de dados multifinalitário para o Estado, fique responsável pela BD. No entanto, cabe já a constituição de um Conselho consultivo de representantes, inicialmente formado pela COPEL, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR e IAP/SEMA, para normalização e contínuo desenvolvimento da BD, devendo a ação inicial deste Conselho preocupar-se com o uso e a manutenção da BDG.
- Deverá haver uma divulgação entre as empresas interessadas para que todo o Paraná saiba da existência da BD, tornando um hábito a pesquisa na mesma, antes da realização de qualquer levantamento geodésico e após o mesmo, com a intenção de atualizar ou inserir novos dados;
- Recomenda-se que a nomenclatura, simbologia e todos os termos usados na BD sejam mantidos e seguidos por todos os seus usuários;
- O profissional que trabalhar com a BD terá que ter conhecimento em Cartografia, Geodésia e gravimetria, para poder qualificar os dados e gerenciá-los adequadamente;
- Os testes que deveriam ter sido realizados para visualizar a superfície, com os dados retirados dos MDT e MGP, não foram feitos, por falta do programa que ainda não foi

adquirido pela UFPR. Portanto, fica aqui, a sugestão de se testar os dados obtidos com os modelos citados;

- Pretende-se futuramente montar um manual de consulta, explicando-se como acessar a BD e como resgatar informações. Isso estará disponível em CD-ROM.
- Como atualmente a mais rápida fonte de pesquisa e consulta é via internet. Está sendo implantada uma página para se obter informações contidas na BD. Com a disponibilidade de todos estes produtos, imagina-se que o acesso aos dados será eficaz e imediato.
- É importante que convênio entre a UFPR e a COPEL tenha continuidade, assim como com outras empresas e entidades. Desta forma, é possível que novos projetos sejam desenvolvidos, permitindo que outros estudantes tenham esta mesma oportunidade.

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	- Interface software de ajustamento.....	68
ANEXO 2	- Interface tipos de nivelamento.....	68
ANEXO 3	- Precisão dos levantamentos segundo as Normas do IBGE.....	69
ANEXO 4	- Interface instrumento de altimentria.....	69
ANEXO 5	- Interface instrumento de planimetria.....	70
ANEXO 6	- Interface instrumento de gravimetria.....	70
ANEXO 7	- Interface instrumento de planialtimetria.....	71
ANEXO 8	- Interface datum.....	72
ANEXO 9	- Interface rede.....	73
ANEXO 10	- Interface ponto.....	74

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, D. C.; BURKE, K.; CAZENAVE, A.; DIXON, T.; HAGER, B. H.; HEIRTZLER, J. R.; JORDAM, T. H.; MINSTER, J. B.; MCNUTT, M. K.; ROYDEN, L. H.; SANDWELL, D. T.; & TURCOTTE, D. L.. **Long term dynamics of the solid Earth**. In: The interdisciplinary role of the space Geodesy (I. I. Mueller & Zerbini eds.). Springer – Verlag, New York , pp: 43-102, 1988.
- ARABELOS, D. **Validation of ETOPO5U in Hellenic area**. Bull. Géod. 68: 88-99, 1994.
- ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: A Management perspective**. Ottawa, WDI Publications, 1989.
- AULT, M. R. **ORACLE 7.0: administração e gerenciamento**. Rio de Janeiro: Infobbok, 1995.
- BLITZKOW, D.; CINTRA, J. P.; FORTES, L. P. S.. **A contribution to the geoid determination**. XX General Assembly of the IUGG. Viena, 1992.
- BLITZKOW, D. et al.. **Mapa Geoidal do Brasil**. IBGE/EPUSP – PTR, Rio de Janeiro, 1992.
- BLITZKOW, D.; FAIRHEAD, J. D.; LOBIANCO, M. C.. **An Attempt for a Gravimetric Geoid in South America**. 18ª Reunião Científica de Geofísica e Geodésia, La Plata, Argentina, 1994.
- BLITZKOW, D.. **Toward a 10' Resolution Geoid for South America: a Comparison Study**, EPUSP – PRT, 1998.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land use assessment**. Oxford, Claderon Press, 3ª ed., 1991.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Oxford, Oxford University Press, 1994.
- CÂMARA, G. (et. al). **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. 10ª Escola de Computação, - Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, xi,197 p. il, 1996.
- COSTA, M. F. **Compatibilização entre sistemas geodésicos: estudo de caso**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Seminário de Qualificação, Curitiba, 1998.
- DENKER, B. L.. **World Geodetic System 1984**. Defense Mapping Agency Aerospace Center. Technical Report, 24 pp, 1986.
- FORTES, L. P. S.; CAGNIN I. F.; GODOY R. A. Z. & BLITZKOW D.. **Determinação dos parâmetros de transformação entre sistemas NWL-10D, NSW-92Z, WGS84 e o SAD69**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia , vol. I, pp. 157-165, 1989.

- FORBERG, R. & SIDERIS, M. G. **On topographic effects in gravity fields approximation.** In: Festschrift to Torben Krarup (E. kejlsø; K. Poder & C. C. Tscherning eds.). Geodätisk Institut, Copenhagen., pp: 129-148, 1989.
- FREITAS, S. R. C.. **Notas de aula de Geodésia Geral.** Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná, 1997.
- FREITAS, S. R. C.; LUZ R. T.. **Altimetria de Precisão com GPS no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações.** 4 Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Resumos Expandidos, volume I, Rio de Janeiro, 1997.
- GEMAEL, C. & ROSIER, F.,. **Calibração de gravímetros usando a RENEGA.** 2º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Salvador, Anais, pp. 120-124, 1991.
- GEMAEL, C.,. **Introdução à Geodésia Física.** Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Texto de aula, Curitiba, 1981.
- GEMAEL, C.,. **Determinação da gravidade em Geodésia.** Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Texto de aulas, Curitiba, 87pp, 1985.
- GEMAEL, C.; LEITE, O.H.S.; ROSIER, F.A.; TORGE, W.; RÖDER, R.H. & SCHNULL, M. **Large-scale absolute gravity control in Brazil.** In Gravity, Gradiometry. RUMMEL, R & HIPKIN R.G.eds. Springer-Verlag, Symposium, nº 103: 49-55, 1989.
- GEMAEL, C. & ANDRADE J.B.. **Variação do fator gravimétrico no Brasil.** II Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Salvador, Anais 1: 134-139, 1991.
- IBGE (Fundação Instituto brasileiro de Geografia e Estatística) - **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos.** Resolução PR 22/83, Boletim de Serviço n.º 1602 - Suplemento, Rio de Janeiro, 12pp, 1983.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY (IAG) – **International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71).** Publicação especial n.º 4, Paris , 194p, 1974.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) – **Geoprocessamento para projetos ambientais.** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador – BA, 1996.
- KORTH, F. H. & SILBERSCHATZ, A. **Database System Concepts.** Tradução Maurício Heihachiro Galvan Abe; revisão técnica Prof. Waldemar W. Setzer – 2ª ed. Ver. – São Paulo: MAKRON Books, 1995.
- LAUGHRIDGE, M. S. **Relief map of the Earth's surface.** EOS Trans. 61 (10): 121, 1986.
- LR (LaCoste & Romberg) - **Instruction manual for LaCoste & Romberg gravity meters,** Austin, 14pp, 1990.

MERRITS, D. & ELLIS, M.. **Introduction to special section on tectonics and topography.** J. Geophys. Res. 99(B6): 12135-12141, 1994.

MOLODENSKI, M. S.; EREMEEV, V. F. & YURKINA, M. I.. **Methods for study of the external gravitational field of the figure of the earth.** English translation by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, for Office of Technical Services, Department of Commerce, Washington, 248 pp, 1962.

NGDC (U. S. National Geophysical Data Center). **Global Relief Data: CD-ROM.** Department of Commerce, Washington, 1992.

NIMA - World Geodetic System 1984 (WGS84) - **Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems.** National Imagery and Mapping Agency, Technical Report - Third Edition, 1997.

ORACLE CORPORATION. **CASE\* Designer User's Guide and Tutorial.** Version 1.1, 1989.

ORACLE CORPORATION. **CASE\* Dictionary Reference Guide,** 1991.

ORACLE CORPORATION. **CORACLE 7 – Server Concepts Manual,** 1992.

ORACLE CORPORATION. **ORACLEA 7 – Server Administrator's Guide,** 1992.

PACÍFICO, A M. L.. **Extensões de Banco de dados relacional aplicadas a sistemas de informações geográfica.** Curso de Pós Graduação em Ciências em Sistema e Computação de Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro, 1996.

PAVLIS N. K., **Development and Applications of Geopotential Models.** Hughes STX Corporation 7701 Geenbelt Road, Suite 400 – Geenbelt, MD 20770, USA. Material preparado para 2ª Escola Internacional de Determinação e uso do Geóide Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

PESSOA, L. M. C.. **Geóide Gravimétrico Local em Área da Bacia do Paraná.** UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba. Dissertação de Mestrado, 1997.

PETTINATI, F.. **Modelamento Digital e Representação Gráfica de Superfícies.** USP – Escola Politécnica de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 1983.

RAPP, R. H., **Precise definition of the geoid and its realization for vertical datum applications.** INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROBLEMS RELATED TO THE REDEFINITION OF THE NORTH AMERICAN VERTICAL GEODETIC NETWORKS, Ottawa, (2): 553-556, 1980.

RAPP, R. H., **The Use of Potencial Coefficient Models in Computing Geoid Undulations.** Department of Geodetic and Surveying, The Ohio State University, 1991.

- RAPP, F. & PAVLIS N. K., **The development and analysis of geopotential coefficient models to spherical harmonic degree 360**, J. Geophys. Res., 95 21885 – 21911, 1989.
- ROBINSON, A., SALE, R. & MORRISON, J., **Elements of Cartography**. John Wiley & Sons, 1978.
- SÁ, N.C. de; USSAMI, N. & MOLINA, E.C. **Mapa gravimétrico do Brasil**, modelos gravimétricos digitais ar-livre e Bouguer. Relatório técnico, IAG/USP - Departamento de Geofísica, São Paulo, 47 pp, 1991.
- SÁ, N.C. de; USSAMI, N. & MOLINA, E.C. **Avaliação do Modelo Topográfico Digital ETOPO5 no Sudeste do Brasil**. 4 Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1 Conferência da União Latino-Americana de Geofísica. Rio 95, resumos expandidos, volume I, Rio de Janeiro, 1995.
- SACKS – DAVIS, R.; McDONELL, K. J.; OOI, B. C.; **“GEOQL: A Query Language for Geographic Information Systems”**. Australian and New Zealand Association for the Advanced Science Congress, Townsville Australia, 1987.
- TSCHERING, C. C.; RAPP, R. H.; GOAD, C. - **A Comparison of Methods for Computing Gravimetric quantities from High Degree Spherical Harmonic Expansions**, Manuscripta Geodaetica, Vol. B, pp. 249-272, 1983.
- TZAVIOS, I. N.; SIDERIS, M. G. & SHWARZ, K. P. **A study of the contributions of various gravimetric data types on the estimation of gravity field parameters in mountains**. J. Geophys. Res. 97(B6): 8843-8852, 1992.
- TORGE, W. - **Geodesy**, Berlim, Walter de Gruyter, p.111-112, 1980.
- VALENZUELA, R.C.; **Introduction to geographic information system**. ITC. The Netherlands, 1990.



# **A N E X O S**

## ANEXO 1 – Interface software de ajustamento

The screenshot shows a window titled 'sw\_ajustamento'. It contains three main input areas: a 'Nome:' label followed by a single-line text box with the letter 'I'; a 'Tipo' label followed by a group box containing two radio buttons, 'Comercial' (which is selected) and 'Científico'; and a 'Descricao:' label followed by a multi-line text box with the letter 'I'. At the bottom, there are two buttons: 'Ok' and 'Cancelar'.

## ANEXO 2 – Interface de nivelamento

The screenshot shows a window titled 'nivelamento'. It contains a single input area: a 'Descricao:' label followed by a single-line text box with the letter 'I'. At the bottom, there are two buttons: 'Ok' and 'Cancelar'.



## ANEXO 3 – Interface dos levantamentos segundo as normas IBGE

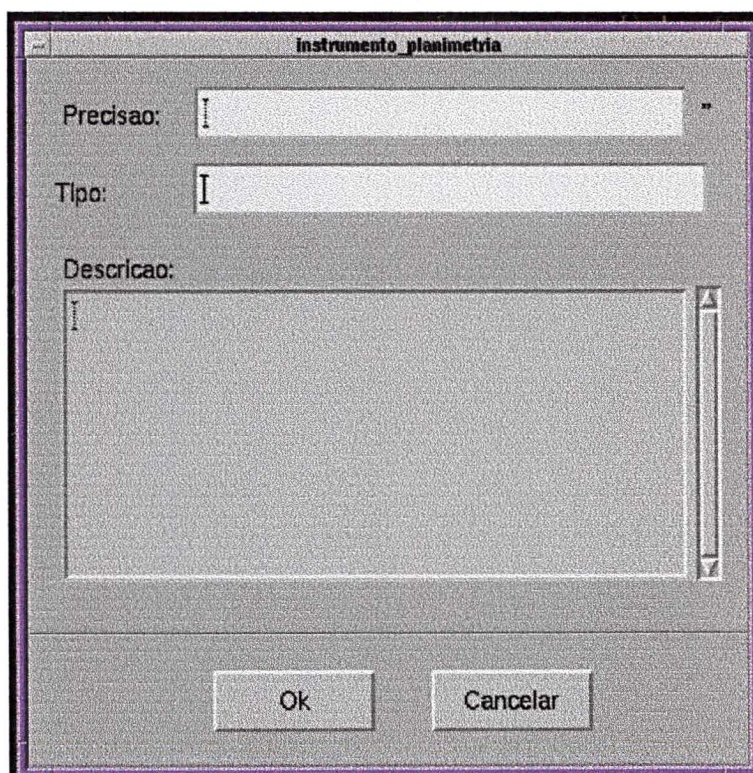
The screenshot shows a dialog box titled "precisao". It contains a "Tipo" section with four radio buttons: "Altimetria", "Gravimetria", "Planimetria", and "Planialtimetria". Below this, there is a label "Erro Padrao:" followed by a text input field and a unit selector dropdown menu currently showing "(m)". Underneath is a label "Descricao:" followed by a larger text input field. At the bottom of the dialog are two buttons: "Ok" and "Cancelar".

## ANEXO 4 – Interface instrumento de altimetria

The screenshot shows a dialog box titled "instrumento.altimetria". It contains a label "Precisao:" followed by a text input field and a unit selector dropdown menu currently showing "(mm/km)". Below this is a label "Tipo:" followed by a text input field. Underneath is a label "Descricao:" followed by a large text input area. At the bottom of the dialog are two buttons: "Ok" and "Cancelar".

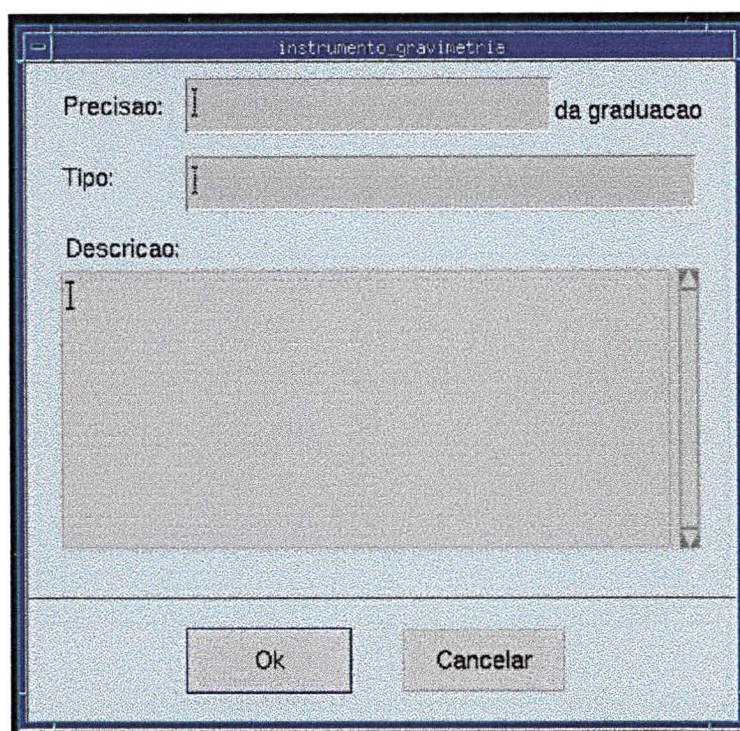


## ANEXO 5 – Interface instrumento de planimetria



The screenshot shows a dialog box titled "instrumento\_planimetria". It contains three input fields: "Precisao:" with a text box and a unit dropdown menu showing "m"; "Tipo:" with a text box; and "Descricao:" with a large text area. At the bottom, there are two buttons: "Ok" and "Cancelar".

## ANEXO 6 – Interface instrumento de gravimetria



The screenshot shows a dialog box titled "instrumento\_gravimetria". It contains three input fields: "Precisao:" with a text box and a unit dropdown menu showing "da graduacao"; "Tipo:" with a text box; and "Descricao:" with a large text area. At the bottom, there are two buttons: "Ok" and "Cancelar".



## ANEXO 7 – Interface instrumento de planialtimetria

instrumento planialtimetria

Precisao planimetrica:

Precisao altimetrica:  mm/km  ppm

Acuracia:

Tipo:

Descricao:

I

Ok Cancelar



## ANEXO 8 – Interface Datum

The image shows a software dialog box titled "datum". It contains the following fields and controls:

- Nome:** A single-line text input field.
- Latitude:** A single-line text input field.
- Longitude:** A single-line text input field.
- Componente (seg):** A label for a group of two input fields:
  - 1º Vertical:** A single-line text input field.
  - Meridiana:** A single-line text input field.
- Semi-eixo Maior:** A single-line text input field followed by a "(m)" label.
- Achatamento:** A single-line text input field.
- Ondulacao Geoidal:** A single-line text input field followed by a "(m)" label and a small icon of a ruler.
- Descricao:** A multi-line text area with a vertical scrollbar on the right.
- Buttons:** "Ok" and "Cancelar" buttons at the bottom.



## ANEXO 9 – Interface rede

rede

Projeto:  Orgao:  Codigo:

Data Criacao:  Data Atualizacao:  rq:  km Acuracia:

Software Ajustamento  Nivelamento

**Instrumento**

Altimetria	<input type="text"/>
Planimetria	<input type="text"/>
Planialtimetria	<input type="text"/>
Gravimetria	<input type="text"/>

**Precisao**

Altimetrica	<input type="text"/>
Planimetrica	<input type="text"/>
Planialtimetrica	<input type="text"/>
Gravimetrica	<input type="text"/>

**Desvio Padrao**

Altimetria:  (m) Gravimetria:  (mGal)

Planimetria:  Planialtimetria:

Lat:  " Long:  " Lat:  " Long:  " Alt:  (m)

**Ponto de Origem**

☒ Datum ☐ Ponto Geodesico

Selecionar

**Datum Relacionado**

Selecionar

Remover

**Descricao:**

Ok Cancelar



## ANEXO 10 – Interface do ponto

**ponto**

Rede:  Município:

Código:  Inscrição:

**Coordenadas**

Latitude:  Longitude:

E:  N:

**Altitude (m)**

Elipsoidal:

Ortométrica:

**Tipo de Ponto**

☐ Altimétrico

☐ Planialtimétrico

☐ Gravimétrico

☐ Planimétrico

**Grandezas gravimétricas (mGal)**

Valor: (g)  Free Air:  Bouguer:

Isostática:  Correção do Terreno:

**Desvio Padrão**

**Altimetria: (m)**

Alt. elipsoidal:  Alt. ortométrica:

**Planimetria: (m)**

Lat:  Long:

**Planialtimetria: (m)**

Lat:  Long:  Alt:

**Gravimetria:**

(mGal)

**Parâmetros de orientação:**

1ª vertical:  " Meridiana:  " Ondulação Geoidal:  (m)

Arquivo do Croqui:  **Mostrar Croqui**

**Descrição:**

**Itinerário:**

**Ok** **Cancelar**